

REVOCOS DE TIERRA CRUDA:
Especificaciones técnicas para el empleo de morteros preparados de arcillas en construcción

TESIS DOCTORAL

Autora: ANA MARÍA GONZÁLEZ SERRANO

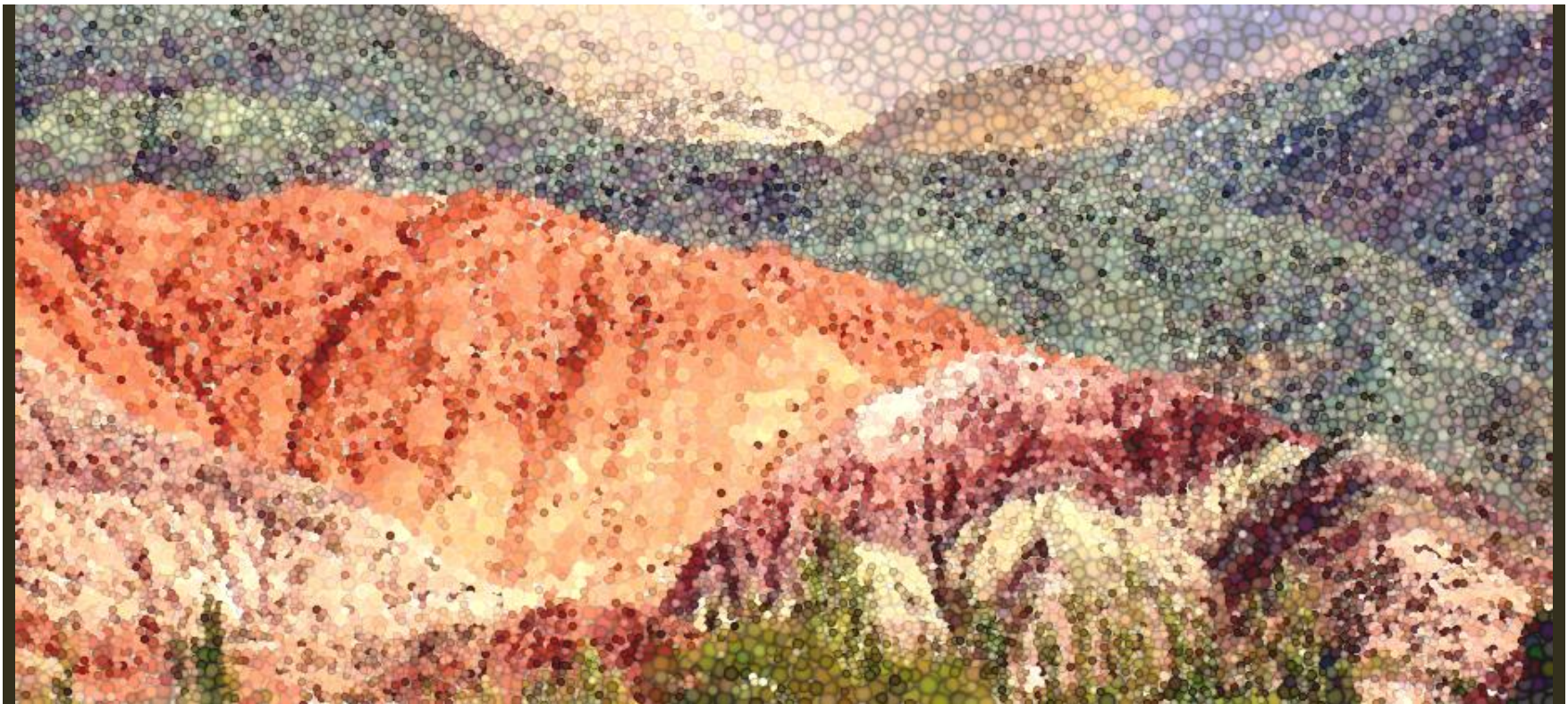
Directores:

REYES RODRÍGUEZ GARCÍA
MERCEDES PONCE ORTIZ DE INSAGURBE
ENRIQUE MORALES MÉNDEZ

Departamento de Construcciones Arquitectónicas I
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Universidad de Sevilla

- 2015 -

A mis padres.



Valles Calchaquies – Argentina

"Para el que mira sin ver, la tierra es tierra, no más..."

Atahualpa Yupanqui

-AGRADECIMIENTOS -

En pocas palabras dejar plasmado el verdadero sentimiento de gratitud parece insuficiente al final del sinuoso proceso que culmina con este trabajo y, aún más difícil, expresarlo en su merecida magnitud a todas aquellas personas que han estado, de una u otra manera, participando en su evolución.

El inexplicable valor que tienen los gestos de quien, con verdadera vocación docente y calidad personal, me ha ayudado en el aprendizaje hacia la investigación, es lo primero que debo agradecer a mi Directora Dña. Reyes Rodríguez García; además, de todo el apoyo, la paciente orientación y tanta generosidad que han permitido dar cuerpo y desarrollo a este trabajo. Igualmente a mi codirectora Dña. Mercedes Ponce Ortiz de Insagurbe, que con esmerada atención ha sido guía y correctora de la evolución de esta tesis, sin desistir en el empeño de contribuir con persistencia en mi avance académico. A ambas, les debo la conducción de este trabajo con constancia, calidad investigadora, profesional y personal que, finalmente, consigue materializar una etapa más de perfeccionamiento y continuidad en mi formación como investigadora, que nos ofrece un campo de acción continuo y compartido que me enorgullece.

A mi familia al completo y los amigos más queridos, todos, por estar siempre a mi lado, especialmente mis padres, hermano, Lis y sobrinos, y un largo etc... de aquí y de allí, con su imprescindible contención afectiva, sabios consejos conductores y ánimos en los momentos oportunos.

A Dn. Rafael García Diéguez, como gran maestro, que generó en mí la curiosidad investigadora y siempre será un ejemplo de actitud y generosidad vital. A Dn. Enrique Morales Méndez, a quien debo agradecer la posibilidad de desempeñar mi tarea docente investigadora en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la E.T.S.A., donde he tenido la oportunidad de desarrollar la temática del estudio de la arquitectura en tierra cruda, que a nivel personal, significa el lazo más directo a mi querido Tucumán.

A las personas que han colaborado en las tareas básicas de experimentación y trabajos complementarios para continuar con el seguimiento de esta investigación, principalmente a Lidia Molina, auxiliar del Laboratorio de Construcciones Arquitectónicas cuya cooperación y conocimientos han resultado imprescindibles, igualmente a Ana Crespo. Al ánimo, colaboración y apoyo de Jorge, siempre dispuesto y bajo el control de los “verdes petróleos”. A Javi y Eli, a mis compañeros de TERRAND y al grupo Terruno, todos siempre a disposición para ayudar e intercambiar conocimientos y a nuestros alumnos colaboradores. A mis compañeros de Departamento, que en todo momento han estado atentos a la

evolución de este trabajo, brindándose como apoyo en tareas docentes, de gestión, si fuera preciso, e interesados siempre en mi estado anímico, especialmente a mis compañeros de despacho, de asignaturas y personal administrativo, Loreto, Macarena y María Luisa.

De forma especial debo mencionar a Laurent Coquemont, que sin el entusiasmo y constancia en la difusión y transmisión de su saber, no se hubiera generado la red de relaciones profesionales y académicas, tanto a nivel nacional como internacional, que actualmente une a muchos de nosotros y posibilita el enriquecimiento y desarrollo de tareas conjuntas dentro de la temática de la construcción con tierra cruda. En este gran grupo, como no hacer referencia a Isidoro Gordillo, cuyo apoyo y aportaciones profesionales, también, resultan fundamentales para esta investigación.

A Javier y Blanca de Ecoclay cuya calidad personal va más allá de la relación profesional que iniciamos hace unos años, agradezco vuestro asesoramiento y generosidad incondicional con la convicción de que los lazos creados seguirán enriqueciéndonos en el desarrollo de un camino común.

En síntesis, tal como expresa esta frase del libro El Alquimista, “*tenemos que aprovechar cuando la suerte esta de nuestro lado y hacer todo lo posible por ayudarla, de la misma manera que ella nos está ayudando*”, y mi suerte ha sido contar con todos y cada uno.

Muchas gracias.

– ÍNDICE

ÍNDICE:

1.- INTERÉS DE LA INVESTIGACIÓN	001
2.- OBJETIVOS	
2.1.- OBJETIVOS GENERALES	003
2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	004
3.- DE LA TRADICIÓN A LA INNOVACIÓN.	
REVISIÓN DE ESTUDIOS EN EL CAMPO DE LOS PRODUCTOS DE TIERRA CRUDA	
3.1.- CONTEXTO ARQUITECTÓNICO Y SOCIAL	007
3.2.- CONTEXTO GEOGRÁFICO	
3.2.1.- Aspectos socio culturales de referencia	013
3.3.- CONTEXTO TÉCNICO	
3.3.1.- Aspectos constructivos y especificaciones técnicas	029
3.3.2.-La importancia del uso de materiales naturales en los morteros de revestimiento	031
3.4.- CONTEXTO NORMATIVO	
3.4.1.-Exigencias y regulación, prescripciones técnicas del producto	044
3.4.2. Reglamentaciones vigentes	045
4.- METODOLOGÍA	053
5.- REVESTIMIENTOS CONTINUOS NATURALES EN ARQUITECTURA. REVOCOS DE ARCILLA	
5.1.- PROCEDENCIA DE LA MATERIA PRIMA	059
5.2.- COMPONENTES DE LOS MORTEROS DE ARCILLA PARA REVOCO	067
5.3.- OTROS COMPONENTES O ADITIVOS	072

6.- REVOCOS DE ARCILLA: PRODUCTO NATURAL

6.1.- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS REVOCO DE ARCILLA_____	077
6.2.- PROCESO DE PRODUCCIÓN Y FABRICACIÓN DE LOS REVOCOS DE ARCILLA_____	085
6.3.- PREPARACIÓN DE LA BASE SOPORTE PARA LA APLICACIÓN DE REVOCOS DE ARCILLA_____	089
6.4.- TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE LOS REVOCOS DE ARCILLA_____	092
6.5.- RELACIÓN ENTRE SÍNTOMA Y TIPO DE LESIÓN O DAÑO EN LOS REVOCOS DE ARCILLA _____	098

7.- PROCEDIMIENTO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS REVOCOS DE ARCILLA PREPARADOS

7.1- CARACTERIZACIÓN DE MORTEROS DE ARCILLA PREPARADOS_____	101
7.2.- DISEÑO DE DOSIFICACIONES PARA REALIZAR LOS ENSAYOS_____	105
7.3.- PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y DISEÑO PROBETAS_____	108
7.3.1-Preparación de muestras_____	108
7.3.2-Diseño y preparación de probetas_____	109
7.4.- DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS Y ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN PROPUESTOS_____	117
7.4.1.- PRUEBAS DE CAMPO_____	117
7.4.1.1.- PRUEBA DE LA BOLA_____	117
7.4.1.2.- PRUEBA DE RETRACCIÓN Y RESISTENCIA SECA_____	119
7.4.2.-ENSAYOS EN ESTADO FRESCO_____	121
7.4.2.1.- CONSISTENCIA_____	121
7.4.2.2.- DENSIDAD APARENTE_____	124
7.4.3.- ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO_____	127
7.4.3.1.- ESTABILIDAD DIMENSIONAL_____	127
7.4.3.2.- ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD_____	129
7.4.3.3.- PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA _____	132
7.4.3.4- COMPACIDAD: MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE ULTRASONIDOS_____	136
7.4.3.5.- RESISTENCIA FLEXOTRACCIÓN Y COMPRESION_____	138

7.4.3.6.- ADHERENCIA AL SOPORTE_____	141
7.4.3.7.- DURABILIDAD: Resistencia a la intemperie_____	148
7.4.3.8.- COLORIMETRÍA_____	150

8.- EXPERIMENTACIÓN

8.1.- PROPUESTA/DISEÑO DE LA FASE EXPERIMENTAL _____	153
8.1.1.-Determinación de los materiales a estudiar_____	154
8.1.2.- Diseño de dosificaciones de mortero y designación de probetas _____	156
8.2.- PLAN DE ENSAYOS_____	158
8.2.1 Planificación_____	159
8.2.2.-Preparación de muestras y probetas_____	161
8.3.- ENSAYOS REALIZADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MORTEROS DE ARCILLA PREPARADOS_____	169
8.3.1.- PRUEBA DE CAMPO	
8.3.1.1.-PRUEBA DE LA BOLA _____	169
8.3.1.2.- PRUEBA DE RETRACCIÓN Y RESISTENCIA SECA _____	171
8.3.2.- ENSAYOS EN ESTADO FRESCO	
8.3.2.1.- CONSISTENCIA_____	174
8.3.2.2.- DENSIDAD APARENTE_____	177
8.3.3.- ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO	
8.3.3.1.-.- ESTABILIDAD DIMENSIONAL_____	179
8.3.3.2.- ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD_____	183
8.3.3.3.- PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA_____	190
8.3.3.4.- COMPACIDAD: MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE ULTRASONIDOS_____	195
8.3.3.5.-RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN Y A COMPRESIÓN _____	197
8.3.3.6 .- ADHERENCIA AL SOPORTE_____	204
8.3.3.7.- DURABILIDAD: Resistencia a la intemperie_____	220
8.3.3.8.- COLORIMETRÍA_____	228

9.- ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

9.1.- ASPECTOS GENERALES_____	231
9.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS. PRUEBAS Y ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN_____	233
9.2.1.-PRUEBAS DE CAMPO _____	234
9.2.2.- ENSAYOS EN ESTADO FRESCO_____	234
9.2.2.1.- CONSISTENCIA _____	235
9.2.2.2.- DENSIDAD APARENTE_____	240
9.2.3.- ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO_____	244
9.2.3.1.- ESTABILIDAD DIMENSIONAL_____	244
9.2.3.2.- ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD_____	249
9.2.3.3.- PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA _____	255
9.2.3.4.- COMPACIDAD: MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE ULTRASONIDOS_____	259
9.2.3.5.- RESISTENCIA FLEXOTRACCIÓN Y COMPRESION_____	263
9.2.3.6.- ADHERENCIA AL SOPORTE_____	270
9.2.3.7.- DURABILIDAD: Resistencia a la intemperie_____	274
9.2.3.8.- COLORIMETRÍA_____	278

10.- CONCLUSIONES / TRANSFERENCIA A LA SOCIEDAD Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

10.1.- CONCLUSIONES DE CARÁCTER GENERAL_____	281
10.2.- CONCLUSIONES DE RESULTADOS EXPERIMENTALES_____	283
10.2.1.- Criterios para la modificación o propuesta de prescripciones_____	283
10.2.2.- Relativas a la caracterización del mortero de arcilla_____	285
10.2.3.- Evaluación del efecto de los aditivos en la dosificación_____	287
10.2.4.- Singularidades destacables_____	288
10.3.- TRANSFERENCIA A LA SOCIEDAD Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN_____	289

11.- BIBLIOGRAFÍA_____	291
------------------------	-----

1 – INTERÉS DE LA INVESTIGACIÓN

1.- INTERÉS DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación que se presenta está enfocado en el análisis de los productos para revestimientos que utilizan como base arcilla en su estado natural y que sean compatibles con los conglomerantes naturales de alta calidad, no transformados y producidos en Andalucía. Como base del estudio se busca caracterizar los morteros arcilla para revocos interiores que se comercializan predosificados, sin aditivos, y su respuesta al añadir conglomerantes para su estabilización. Los materiales que se eligen como aditivos son diferentes tipos de cales, aérea o hidráulica natural, que se distribuyen y dinamizan otros sectores productivos en este ámbito geográfico. La incorporación de las cales a la masa del mortero de arcilla se diseña para verificar su comportamiento conjunto y si la combinación de ambos materiales interviene y en qué medida en las propiedades del producto final.

Frente al desarrollo y optimización del comportamiento de otros morteros para revestimiento en la construcción, los morteros de arcilla se hallan carentes de base científica desarrollada que garantice el conocimiento certero de su comportamiento, las especificidades que puede ofrecer el producto, puesta en obra y mantenimiento para su conservación. Los datos técnicos que se utilizan como referencia no están prescritos y sólo existen valores de referencia de estudios puntuales que en conjunto resultan dispersos.

El mercado de aplicación de las arcillas como materia prima en materiales de construcción está suficientemente consolidado, dentro del catálogo de los llamados productos industrializados, donde se puede diferenciar la aplicación de las arcillas cocidas frente a las crudas. Esta misma materia prima es óptima para ser utilizada como componente de productos “naturales”, cuya designación lleva implícito el concepto de fabricación mediante procesos simples, sin cocción, con control mineralógico y granulométrico de los elementos con los se prepara la dosificación final.

Se busca actualizar los criterios de aplicación de los revocos de arcilla en el ámbito español, tal como ya se utiliza en otros países europeos. De esta forma, se fundamenta que no solo se destinen a sistemas constructivos que emplean tierra cruda o estabilización de edificaciones antiguas que se deban rehabilitar con muros de tapia o adobes, sino que puedan aplicarse en cualquier tipo de muro de obra nueva o soportes con una superficie compatible. Se pretende difundir y concientizar que el revestimiento de los elementos constructivos verticales se beneficia con este producto por sus cualidades, propiedades y aporte de riqueza al espacio arquitectónico, en general.

Por ello la utilización de morteros predosificados desde su fase de fabricación permite, en el mercado actual, contar con productos preparados bajo el control de calidad de empresas expertas en la explotación y transformación de arcillas específicas para materiales de construcción. El producto se obtiene en el mismo formato que cualquier otra manufactura de mortero, embolsado y con datos técnicos básicos para su preparación y aplicación en obra.

Las fuentes documentales actualizadas sobre el estudio de los revocos de arcilla se desarrollan fundamentalmente en tesis doctorales y trabajos fin de Máster que avanzan sobre la temática de diversos tipos de revestimientos. En cuanto a artículos científicos se está desarrollando la tendencia a establecer un contenido acreditado sin soporte técnico dedicado a los revocos que, a menudo, es sintético en relación con los estudios de sistemas constructivos de muros que se investigan. La apuesta actual tiende al estudio de la preservación del patrimonio edificado mediante la generación y desarrollo de sistemas de formación mediante la gestión de políticas europeas comunes. El objetivo principal consiste en aplicar métodos concretos de aprendizaje para el conocimiento de oficios y la enseñanza de técnicas tradicionales para su mantenimiento y conservación como estrategias más adecuadas.

Es fundamental establecer bases metodológicas y disposiciones preceptivas más allá del contexto acotado de las normas armonizadas, que en definitiva son una descripción técnica. Los ensayos que especifican sólo son de aplicación para el análisis y caracterización de morteros para revocos o enlucidos de conglomerantes hidráulicos y cales aéreas. La normativa reguladora actual debe ser revisada y actualizada con respecto a la necesidad que imponen los productos que se emplean en la construcción. La posibilidad de emplear morteros de arcilla para revestimientos lo está exigiendo, máxime cuando la tendencia del panorama industrial de la construcción camina hacia la incorporación de productos naturales con etiqueta de sostenibilidad ambiental en la que se reduzcan los costes energéticos; por lo que mantener esta línea de investigación en un futuro puede dar respuesta a numerosas demandas de la sociedad actual.

2 – OBJETIVOS

2.1.- OBJETIVOS GENERALES

Este trabajo de investigación pretende crear una base de estudio para difundir las principales características de los productos de arcilla para revocos y establecer fuentes de información actualizadas para evaluar si existe la posibilidad del desarrollo de los morteros de arcilla, como producto predosificado y preparado y su aplicación en edificación.

Se busca acotar el ámbito de aplicación de los morteros de arcilla, con el objetivo de establecer razones y ejemplos del uso de la tierra arcillosa como material de construcción. En la arquitectura de casi todos los continentes estos sistemas han evolucionado dependiendo de las diferentes culturas y las tipologías arquitectónicas que las definen. Para demostrar la potencial aplicabilidad y mercado del desarrollo de estos morteros se debe diferenciar, al menos dos campos de acción:

- En edificios con valor patrimonial, que se conservan y representan, en diferente escala, bienes a conservar mediante intervenciones puntuales que pueden identificarse con diferentes grado de protección. Rehabilitaciones en el patrimonio arquitectónico, que marcan una nueva perspectiva de ideas renovadas o mejoras sobre técnicas y productos que, tradicionalmente, han demostrado ser eficientes.
- En edificios de obra nueva, como ejemplos de la arquitectura contemporánea que marca la tendencia del uso de los revocos de arcilla como incorporación de materiales naturales en la construcción sostenible. Actualmente es una solicitud o encargo de clientes que piden incorporar estos materiales al proyecto de edificación.

Así resulta interesante estudiar la localización y contextualización de la materia prima permite localizar zonas de producción de arcillas, contar con los datos de explotación de las canteras activas de donde se obtiene el material y conocer cómo se emplea en los procesos de fabricación de productos para comercializarse en el mercado de la construcción.

De forma descriptiva, se busca ampliar el conocimiento de las zonas productoras de materia prima para analizar otras vías de expansión comercial de las arcillas como base de productos para revestimiento, especialmente en el ámbito andaluz. El desarrollo de un perfil comercial para los revocos de arcilla, se puede definir conociendo los posibles centros de explotación de la materia prima y analizar si es viable que la procedencia del producto sea del ámbito nacional y no se tenga que importar componentes de otros países.

Esto permite, por otro lado, ampliar el estudio de los morteros de arcilla como material de construcción para justificar con datos cuantitativos las posibilidades de aplicación para la mejora de ambientes arquitectónicas por las características de regulación de humedad y temperatura que favorece el estado de bienestar.

2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Con la caracterización de los morteros de arcilla predosificados que en la actualidad se comercializan en el ámbito de la construcción y en España, se procura establecer pautas de control desde la preparación de la mezcla con adición de agua hasta el tipo y cantidad de aditivo que se debe dosificar.

Para ello, es necesario verificar qué relación existe entre el morteros de arcilla y los morteros de arcilla predosificados, definir las ventajas de aplicación de un producto sobre otro y destacar las observaciones que fijen criterios de modificación de prescripciones existentes para todos los revocos y enlucidos.

En la fase experimental de este trabajo de investigación, el objetivo es analizar tanto la metodología empleada como el procedimiento de ejecución para la caracterización de los morteros, contemplando la evaluación del número y formato de probetas para determinados ensayos.

A partir de la aplicación de los procedimientos experimentales, analizar qué especificaciones pueden definirse en este tipo de morteros de arcilla, sin y con aditivos, mediante la planificación de los ensayos, para obtener valores de los resultados de efectos frente a la humedad, comprobación de resistencia mecánica, grados de adherencia en diferentes tipos de superficies, de erosión para obtener las muestras suficientes y para poder desarrollarlos.

La cal resulta ser un aditivo que combina de forma adecuada con los suelos arcillosos pero se necesita innovar en el estudio y análisis de las dosificaciones de suelo-cal. Se busca definir diferentes parámetros de medida dentro de la composición de los morteros de arcilla para la generación de nuevos productos. Definir aspectos fundamentales para su empleo como revestimiento en la edificación: fijar pautas prescriptivas en la dosificación de los componentes, mejora de las mezclas, requisitos de preparación, utilización, aplicación y mantenimiento para la mejora del producto final.

Se considera oportuno establecer pautas de comportamiento del producto al adicionar diferentes tipos de cales para su estabilización y contrastar con la respuesta del cemento. Evaluar si los resultados que se obtienen son similares a los establecidos para todos los tipos de suelos o se muestran singularidades en las dosificaciones para morteros de revoco de baja granulometría

En este sentido, detectar las variables que permitan estudiar y considerar efectos en el producto e interrelacionar resultados entre los diferentes ensayos que se desarrollan

En definitiva, marcar las singularidades que se detecten en la respuesta del producto en su comportamiento frente al agua, resistencia mecánica y puesta en servicio para poder establecer pautas diferenciables o comunes que proporcionen datos relevantes a la hora de la aplicación del producto o sumen cuestiones a seguir investigando.

3 – DE LA TRADICIÓN A LA INNOVACIÓN.
REVISIÓN DE ESTUDIOS EN EL CAMPO DE LOS PRODUCTOS DE TIERRA CRUDA

3.1.- CONTEXTO ARQUITECTÓNICO Y SOCIAL

La revisión de donde se está y hacia donde se puede ir requiere la evaluación de aspectos fundamentales de la arquitectura actual, más concretamente la que utiliza la tierra cruda como base de sus soluciones constructivas. En este capítulo se presentan los principales hitos y circunstancias diferenciales que centran esta investigación, mediante la revisión de estudios actualizados que aportan conocimiento sobre los revestimientos, en general, y los revocos de arcilla, en particular; además del análisis del estado de la cuestión en función del contexto arquitectónico, geográfico, social, o histórico..

La puesta en valor de la arquitectura popular donde se utilizan pocos recursos, con una clara economía de medios y disposición de mano de obra del lugar, fomenta la reinterpretación de las técnicas tradicionales, olvidadas por la interrupción de la transmisión de conocimientos de oficios a través de generaciones. No es fácil obtener la sumatoria de mano de obra especializada en oficios y materiales naturales de extracción cercana, del mismo medio natural donde se pretende edificar o, como sucede la mayoría de las veces, no siempre, el entorno inmediato brinda todo lo necesario para la construcción de una edificación sostenible.

Sorprende que en algunos países de Latinoamérica, o en Estados Unidos y Australia, zonas de muy diversa consideración geográfica, económica y política, técnicas constructivas que emplean productos de tierra cruda, como el adobe o los bloques de tierra comprimida (BTC), hayan generado redes sólidas a nivel empresarial que especifican una tipología y campo propio de arquitectura, sobre todo el que defiende procesos ecológicos y de reciclaje de materiales dentro de la edificación saludable y responsable con el medio, y para cualquier nivel económico de la sociedad.

Por el contrario, en algunas regiones de España, aunque existen técnicas tradicionales que se han mantenido gracias a la transmisión de oficios, si hablamos del conocimiento sobre los revestimientos con morteros de tierra, cuyo compuesto principal es la arcilla, es muy difícil contactar con personas que atestigüen utilizar estos materiales o tengan adquirida la habilidad de su puesta en obra. Esta cuestión de desconocimiento del material y la capacidad de aplicación también se presenta si se habla de los revestimientos de cal, llegando a considerar complejas o anómalas estas soluciones arquitectónicas antiguas (Maldonado, 2002).

La situación actual de la construcción en tierra cruda, dentro de la arquitectura contemporánea de nuestro entorno próximo, y en el marco normativo de la edificación en la Unión Europea, permite integrarla como una propuesta de solución constructiva más para cumplir con las exigencias de confort ambiental y salubridad del edificio. Los diferentes sistemas tradicionales de construcción en tierra cruda han buscado y siguen intentando ajustarse a soluciones adecuadas, sobre todo en la utilización de soluciones de revestimiento para la protección de elementos de la envolvente. En el caso concreto de los revestimientos estos deben cumplir una doble finalidad: garantizar la durabilidad del material que compone el muro de cerramiento - en consecuencia la integridad y estabilidad del elemento constructivo- y garantizar el comportamiento higrotérmico previsto para el soporte, evitando que sea afectado por la presencia de humedad (Castilla, 2011).

El patrimonio existente, enfocándolo desde el estudio de la arquitectura popular, siempre ha sido separado de la arquitectura contemporánea. Las edificaciones realizadas con materiales denominados industrializados, como el ladrillo, hormigón o acero, se diferencian de las que se construyen con materiales naturales (tierra cruda, piedra natural, madera) al considerarse, estas últimas, una arquitectura realizada con materiales vulnerables, de cuestionada garantía y durabilidad. La arquitectura popular, sobre todo la construida en tierra cruda, ha sido despreciada más que abandonada, cuando en realidad las soluciones constructivas tradicionales eran el mecanismo de ingenio y de resolución de problemas a solventar en el medio donde se utilizaban y frente al cual había que aplicar respuestas válidas y sostenibles.

La tierra, como material de construcción ancestral, ha sido la materia prima principal de múltiples sistemas estructurales que pueden ser fácilmente diferenciables por el procedimiento de ejecución y las opciones de configuraciones constructivas que cada uno permite. Los sistemas pueden clasificarse en dos grandes grupos: los monolíticos de muros macizos de tierra apisonada (tapias) o las fábricas de mampuestos conformados por adobes o bloques de tierra (BT). Los elementos constructivos en base a tierra cruda también pueden ser parte funcional de otros sistemas estructurales formando sistemas mixtos donde los elementos de tierra se combinan con otros materiales como la madera, el bambú, los fardos de paja para conformar los muros resistentes o cerramientos de la envolvente.

En la Tabla 3.1, se resumen los principales sistemas constructivos utilizados en España, según su tipología y proceso de ejecución, para finalmente relacionarlo con el tipo de acabado sin y con revestimientos que suelen presentar.

Tabla 3.1

RELACION entre SISTEMA CONSTRUCTIVO CON TIERRA CRUDA y REVOCOS				
SISTEMA CONSTRUCTIVO		TIPOLOGÍA	EJECUCIÓN	TIPO de ACABADO
tapia		bloque monolítico	tierra compactada	Sin revestimiento
				Revestida con revoco
adobe		mampuestos	tierra moldeada	Sin revestimiento
BT	BTC ¹			Revestida con revoco sin aditivos
	BTE			Revestida con revoco con aditivos
entramados	madera aserrada			Sin revestimiento
	quincha	entramado	relleno de paños	Revestida con revoco sin aditivos
	bahareque			Revestida con revoco con aditivos

La mayoría de las culturas tradicionalmente han utilizado el revestimiento exterior de los edificios para garantizar la protección de sus fachadas frente a agentes externos y realizar el acabado de la misma con una determinada textura, color, despiece o modulación (AFAM, 2006). Los revestimientos en las construcciones de tierra cruda, compuestos por capas revoco de arcilla, se han usado para su protección, tanto en el exterior como en el interior de los edificios. A esta propiedad hay que añadir la expresión de una estética que durante siglos y generaciones en determinados ámbitos culturales ha sido la identificación de un modo de vivir y hacer.

Los morteros de tierra arcillosa utilizados como revestimiento, solo se han analizado a nivel histórico como uno de los acabados del edificio que permite dotarlo de cierto valor; sus componentes o expresión compositiva reflejan la identificación de estilos y determina su composición estética. Los trabajos publicados, casi siempre dentro de un marco histórico-arqueológico, son los que describen como se han empleado los revocos de arcilla en la arquitectura tradicional detallando sólo los fundamentos básicos de uso y posibles aplicaciones.

Por lo tanto, es necesario hacer una revisión de las experiencias realizadas que pueden servir de reflexión para resolver, con la urgencia necesaria y con criterios adecuados, un problema técnico que debe enfrentarse al desconocimiento y reclamar la adecuada capacitación de los agentes que intervienen en su ejecución (técnicos y mano de obra) para emprender acciones que favorezcan a la conservación de la arquitectura de tierra cruda. Asimismo, se considera oportuno recalcar la importancia que tiene que desde proceso de una investigación se enfoquen propuestas para desarrollar nuevas aplicaciones de estos productos naturales.

¹Referencia de términos de BT (bloque de tierra) BTC (bloque de tierra comprimida) y BTE (bloque de tierra extruida)

En este sentido, los mayores esfuerzos se han dedicado a la recuperación de grandes conjuntos o importantes edificios arquitectónicos², aunque ya entra en la temática de cursos especializados de formación profesional³ donde se fomenta y perfeccionan las técnicas tradicionales y se amplía el conocimiento, defendiendo así el resultado positivo del uso de los morteros de tierra y de cal. Curiosamente, cuando se hace la búsqueda de información documental sobre morteros de tierra arcillosa predomina la información de morteros de tierra arcillosa refractaria, para su uso y empleo en elementos con requisitos de alta seguridad y protección frente al fuego.

La incertidumbre o dispersión de conocimiento de estas soluciones técnicas produce, a nivel profesional, un vacío de recursos intelectuales que impide aplicar criterios de intervención con una base de confianza; por todo ello, los profesionales y los técnicos de la arquitectura deben actualizarse mediante la formación especializada o recurrir a la experiencia para poder contar con ese aprendizaje.

En las últimas décadas, la labor que vienen desarrollando, organismos de cooperación, centros de investigación⁴, nacionales y europeos, hasta algunas empresas privadas, en la dinamización de la construcción en tierra cruda, aunque a paso lento, colabora en la difusión y toma de conciencia del campo de acción que se abre para nuevos productos y sistemas compatibles con este tipo de técnica constructiva.

En la actualidad se presentan situaciones donde el cliente o promotor que encarga un proyecto de arquitectura, en su gran mayoría de origen extranjero, demanda condiciones específicas en el diseño del edificio, justificando hábitos o requerimientos diferentes sobre el uso de los materiales en la construcción y que se incluyan productos más naturales o con menos elementos perjudiciales en su composición. Cuando hacen un encargo solicitan la aplicación de técnicas tradicionales y materiales naturales como recursos en la consecución de una edificación saludable, de menor contenido de materiales tóxicos y que garantice resultados eficaces de confort y acondicionamiento del aire interior frente a la temperatura, la humedad y los ruidos.

² Intervenciones en la ciudadela de Bam (Irán), la ciudad de Chan-Chan (Perú), el palacio de Abomey (Mali) o las kasbas del Atlas marroquí, entre tantos otros.

³ Cursos liderados por la labor formativa de CRAterre (Centre international de la construction en terre), en la Escuela de Arquitectura de Grenoble (Francia) que han impulsado actividades que se están desarrollando por especialistas en el Museo de la Cal de Morón de la Frontera, provincia de Sevilla.

⁴ Encabezados por CRAterre y Asociaciones gubernamentales (CIAT - Centro de Investigación de Arquitectura Tradicional, IPCE - Instituto de Patrimonio Cultural de España, IAPH – Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, etc.) junto con otras asociaciones sin fines de lucro en varios países de Europa abogan por la capacitación mediante el fomento del contacto directo con materiales y objetos que mediante el juego o cooperativismo permiten aprender sobre el uso del barro y la tierra en la construcción, desde los niveles más básicos de enseñanza infantil hasta la formación de oficios profesionales.

Los argumentos utilizados normalmente se justifican, más que por una moda, por las percepciones individuales que los propios usuarios han podido sentir en el interior de las edificaciones tradicionales de muros de mampostería de piedra o de tapia. El espesor de los muros de varios centímetros (siempre superando los 45 a 60 cm) que, además, están revestidos con morteros arcilla o de cal y la incorporación en los diseños de elementos estructurales de madera, sobre todo en forjados, configuran espacios cálidos y confortables fácilmente perceptibles.

El recuperar el aprendizaje de técnicas tradicionales, como la utilización del revoco de arcilla para gestionar un sistema de permanencia de oficios específicos frente al ciclo de avance y utilización de materiales de revestimientos industriales, actualmente, se debe considerar como un desafío. Se deben plantear nuevas estrategias, investigar e innovar para reinterpretar las tradiciones válidas en un ejercicio de recuperación que se traduzca en beneficio social para la mejora de recursos económicos, fomento de productos locales o técnicas que han dado un resultado eficiente y demostrado en el tiempo.

En Europa, la conservación e intervención en la edificación con tierra cruda se realiza por iniciativa institucional, principalmente cuando se trata de patrimonio histórico construido con tapia. Es en este ámbito donde aún existe cierta dificultad para aplicar criterios correctos de intervención con adecuada formación de técnicos y mano de obra competente.

Por eso, los países punteros en esta temática y más experimentados, como Francia y Alemania, al advertir la necesidad de conocimiento y difusión de técnicas que emplean la tierra cruda, han sumado esfuerzos para lograr consolidar proyectos de formación profesional que capaciten a operarios. En este sentido se han incorporado el sistema denominado European Credits Vocational Education Transfer (ECVET)⁵ que, desde el año 2014, existe en Europa para implantar, con carácter voluntario para todos los países de la Unión Europea, procesos de homologación y movilidad laboral. De esta forma, se suman a las necesidades de homologación de las cualificaciones profesionales y de movilidad laboral que suponen una exigencia para establecer un sistema de créditos de formación reconocido y aceptado por todos los países.

⁵ ECVET: es un sistema de certificación para la capacitación profesional de la mano de obra en determinados oficios. Existen módulos concernientes al campo de actividad profesionales de la construcción en tierra. Está formado por un conjunto de conocimientos básicos, aptitudes y de competencias. Desarrolla unidades de aprendizaje que son evaluables de forma que permite obtener certificados de diferentes niveles a partir de unidad diferenciable entre sí.

Desde las instituciones que actúan en la defensa del patrimonio histórico se está favoreciendo el fomento de cursos taller que comienzan a difundir la enseñanza de técnicas tradicionales y su reinterpretación para la construcción actual. El Instituto de Patrimonio Cultural de España – IPCE-, el Instituto de Patrimonio Histórico Andaluz (IAPH) ⁶ o el Museo de la Cal de Morón de la Frontera, provincia de Sevilla, cuentan con una programación dinámica en cuanto al fomento de las buenas prácticas de conocimiento de los materiales autóctonos, además de la tierra y la cal, y la puesta en práctica de técnicas olvidadas y desaprendidas. Las experiencias más eficaces siempre han procedido de la autoconstrucción como ejemplo de aplicación y de este proceso empírico se ha obtenido el conocimiento de uso y aplicación de los productos.

En los últimos diez años se han presentado diversas tesis doctorales que catalogan, describen y analizan edificaciones y varios sistemas de construcción en tierra cruda⁷ y, en concreto, algunas referidas al uso del barro como revestimiento y revocos de tierra y cal⁸ en edificaciones de determinadas zonas⁹ y definen características y modos de empleo tradicionales en regiones concretas. Los trabajos experimentales de varios estudios científicos se encuadran en el análisis y el estudio de los materiales que componen los morteros¹⁰, más como mortero de agarre o mortero de reparación que como producto de revestimiento, su respuesta como elemento compositivo de la mampostería o la fábrica o como protección de diferentes soportes, su estabilidad o mejora en su comportamiento resistente, inercia térmica¹¹ y durabilidad del material según diversas dosificaciones.

⁶ Programa de 2015 del IAPH - Instituto Andaluz de patrimonio Histórico- apuesta por la Formación de los profesionales del patrimonio cultural, adaptándose a los nuevos escenarios en el sector cultural. Oferta Cursos de Especialización que potencian una mirada formativa diversificada desde lo multidisciplinar, la práctica y espacios de encuentro al servicio de la comunidad profesional y el sector universitario tanto presenciales como de formación en línea (<http://www.iaph.es/web/canales/formacion/cursos>, 2015)

⁷ Gabriel Barbeta (2000) escribe una de las primeras tesis españolas en recopilar el estado de la cuestión a nivel mundial y establece las pautas de cómo realizar el estudio de suelos para su utilización en la construcción con tierra cruda.

⁸ Tesis de Alfredo Gonçalves Da Silva Braga (2012) sobre las construcciones de tierra cruda en el Algarve, refuerza el conocimiento sobre el potencial del uso de la tierra con la cal como material alternativo y sostenible.

⁹ La tesis de Francisco Javier Castilla (2004) hace un estudio general del uso de revestimientos de barro en las edificaciones de tierra definiendo un ámbito territorial dentro de la meseta norte castellana y ensaya propuestas de uso y metodologías tradicionales de aplicación en varios soportes de edificaciones existentes.

¹⁰ Los trabajos del grupo integrado por Gomes, Díaz Gonsalves y Faria, durante los años 2012 y 2013, actualizan la información técnica sobre el comportamiento de los morteros de arcilla para su utilización como morteros de agarre y de reparación y la compatibilidad de estos con sistemas constructivos de tapia.

¹¹ Tesis de Mar Barbero Barrera (2012) propone mejoras frente al comportamiento térmico de los morteros de cal aditivados para su empleo en la rehabilitación de inmuebles.

3.2.- CONTEXTO GEOGRÁFICO

En la actualidad, en la mayoría de los países europeos, el patrimonio arquitectónico construido con tierra se diferencia por encontrarse en la arquitectura monumental en su más amplio sentido, por la singularidad de la arquitectura que definen, civil, religiosa o militar; o bien en la arquitectura popular doméstica por la conservación de tradiciones populares que mantienen y atesoran su arquitectura, como parte de un comportamiento social adscrito a formas de vida populares o como identidad de una población con tradiciones más arraigadas.

3.2.1.- Aspectos socio culturales de referencia

La importancia de la arquitectura de tierra se hace muy evidente tanto en Europa como en Latinoamérica y, desde este enfoque, gana fuerza en los campos científicos en España. La arquitectura popular tradicional es atemporal, surge de las necesidades específicas de una población y se transmite prácticamente igual de generación en generación. Hoy los ritmos de las acciones son diferentes, pero comienza a mantenerse la conciencia de la necesidad de recuperar nuestro patrimonio en el más amplio sentido de la palabra.

La conservación de la arquitectura popular es un tema de actualidad, debido a la variedad y riqueza de la misma y al gran riesgo de perderse por destrucción o ruina dada la situación de vulnerabilidad a la que se enfrenta. La recuperación de los valores que aporta la identidad cultural que mediante el uso de recursos y materiales del contexto inmediato permite, a su vez, la integración y mimetización con el paisaje que le rodea, del sitio al que se pertenece.

Muchas zonas de la península ibérica contaban, y aun cuentan, con importantes edificios construidos en tierra, especialmente en las zonas estratégicas relacionadas con los periodos de conquista y defensa del territorio, pero también existe un amplio patrimonio de edificaciones destinadas a actividades agrícola ganadera y muchos ejemplos insertos en los cascos urbanos de pueblos y ciudades donde aún sobreviven muros de tapia o adobes casi siempre como medianera (ICC, 2011). La climatología, los recursos de la mano de obra especializada, la necesidad de autoconstrucción, las condiciones socioculturales sumadas a las necesidades del hábitat, siguen siendo pautas condicionantes para su empleo y han ido definiendo las funciones, la disposición y las técnicas, perfilando así las soluciones constructivas resultantes.

- Recorrido histórico y geográfico por diferentes ámbitos

El uso de los revestimientos en las construcciones de tierra permite hacer diferentes lecturas de esta arquitectura, tanto con respecto al grado de desarrollo de determinados sistemas y técnicas constructivas como de la expresión artística de diferentes culturas. Cada civilización ha visto reflejada, en las superficies de los muros de sus edificios, una manifestación estética como sello de identidad. Se ha utilizado como recurso de expresión libre, como mecanismo de comunicación y singularidad de determinados grupos, familias o castas, para transmitir detalles de su organización social y costumbres. Basta hacer un recorrido por los diferentes ámbitos en todos los continentes para crear un resumen a escala mundial y establecer el estado de la cuestión en el uso y aplicación de revocos de arcilla.

- África

La racionalidad funcional y tecnológica de la arquitectura africana remarca, en general, el respeto por el entorno natural. La arquitectura popular es un medio de expresión anónimo. Las tradiciones vernáculas se materializan y transmiten a través de la autoconstrucción dentro del ámbito familiar o comunitario en diversas regiones que aún se organizan en base a tribus. Las edificaciones expresan mediante los sistemas constructivos y las composiciones de fachada rasgos de identidad local.

La optimización de recursos en base a una economía pobre donde interesa la reducción y el reciclaje de los materiales diferencia las construcciones en tierra cruda, tanto las monumentales como las domésticas, aunque en la mayoría de los países africanos, se protegen todas con revocos de tierra cruda. Toda la comunidad se une para realizar las tareas de mantenimiento de su patrimonio (Foto 3.1 y 3.2),

No consiste en este apartado hacer la descripción de las múltiples técnicas y formas desarrolladas por la arquitectura africana, por lo que se mencionan las zonas donde la arquitectura de tierra está presente y se manifiesta con diferentes ejemplos de relevancia. Las influencias mediterráneas y del Islam, en particular, localizan edificaciones en tierra cruda en toda la zona del Magreb, Mali y algunos países del Golfo de Guinea. Los rascacielos de adobe y piedra de Yemen, los Dongo, las chozas de bambú de Camerún y las construcciones subterráneas de Túnez, entre otros.

Este tipo de arquitectura tiene su máximo exponente en la gran mezquita de Djenné (Mali, en el delta del Níger) (Foto 3.3), monumento declarado Patrimonio de la Humanidad en 1988 por la UNESCO. Esta edificación ha pasado por varias reconstrucciones hasta llegar a la actualidad siempre aplicando el mismo sistema constructivo de masa de tierra cruda moldeada para su recuperación y mantenimiento.



Foto 3.1.- Viviendas adosadas Djenné (Mali)

Fuente: <http://www.naturalhomes.org/great-mosque-djenne.htm>- 2012



Foto 3.2.- Edificios residenciales en Tombuctú

Fuente: <http://lalineadelhorizonte.com>. Jaled Ibarra 2009



Foto 3.3.- Trabajos comunitarios de conservación y mantenimiento del revoco de arcilla exterior en la gran mezquita de Djenné (Mali)

Fuente: <http://www.naturalhomes.org/great-mosque-djenne.htm>- 2014. Julee Khoo



Se destaca la obra del arquitecto egipcio Hassan Fathy, artífice de la recuperación de la bóveda nubia, propia del sur de Egipto y realizada mediante bloques de adobe sin necesidad de cimbra ni encofrado alguno. Este sistema ampliamente exportado por su facilidad de ejecución y bajo coste, también ha servido de punto de partida para que ONG`s como AVN o Development Workshop acometan importantes proyectos de construcción de vivienda social basada en tipologías tradicionales, realizando además un interesante programa de transferencia tecnológica más allá de los límites de Egipto y adaptando el modelo a otros países como Argelia, Níger, Chad y Burkina Faso. En las fotos 3.4 se muestra la riqueza de los espacios interiores revestidos con morteros de arcilla con su color natural.

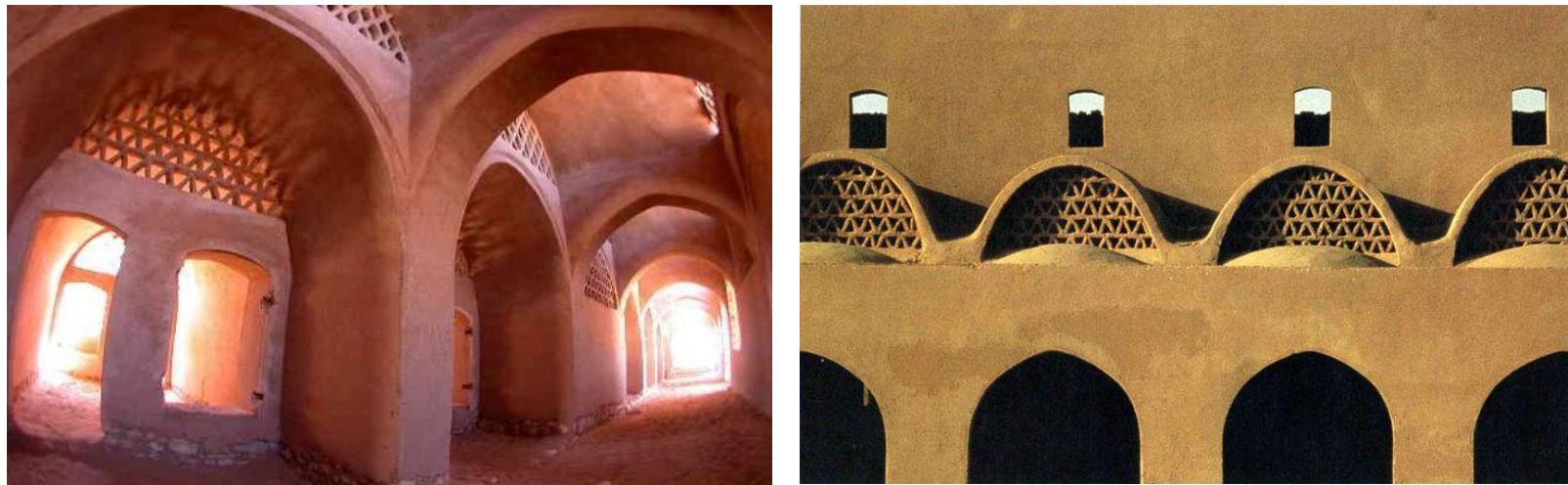


Foto 3.4 Gran Mercado de Gurna, Egipto. Hassan Fathy 1947. Fuente: <http://www.pinterest.com>

- Asia: India y China

Incluir las expresiones de la arquitectura asiática resulta extenso y difícil de resumir en un apartado donde se pretende ejemplificar que los morteros de arcilla han tenido y tienen aplicación y expresión estética en todos los continentes. De Asia, destacan India y China con ejemplos de la arquitectura tradicional otros tan monumentales como la misma muralla China, levantada en base a sistema de tierra cruda compactada y piedra.

Destacan las zonas de Mohenjo Daro y Harappa donde las civilizaciones se organizaban para fabricar bloques de tierra cruda y generar emplazamientos que aun hoy atestiguan el asentamiento de civilizaciones milenarias. La nueva arquitectura rediseña el legado cultural y repite la forma geométrica de las construcción cilíndricas, tanto en edificaciones de una planta como edificios de viviendas plurifamiliares. (Fotos 3.5 a 3.7)



Foto 3.5: Casas cuevas de Mogao - India

Fuente: <http://www.tectonicablog.com>



Foto 3.6: Bhunga, es decir casas circulares en Hodka, Gujarat, India

Fuente: <http://www.naturalhomes.org/great-mosque-djenne.htm>



Foto 3.7: Tulou , casas de tierra cruda, en Fujian, Taiwán – China siglos XII y XX

Fuente: <http://whc.unesco.org/es>

- América: México y sur de EEUU

Se puede diferenciar el tipo de arquitectura de la denominada América del norte del resto que abarca los territorios de América Central y del Sur. Las diferentes culturas han dejado diferentes criterios de expresión y sistemas constructivos entre los que se pueden distinguir dos que destacan por ser las soluciones frecuentes: la tierra cruda compactada y los entramados ligeros de madera rellenos con adobes o mediante una trama de listones o paja que necesita posteriormente ser revestida con mortero de arcilla con paja. Los criterios de uso de los revocos, diferencian el mortero de uso exterior que en su composición añade cal o aditivos plastificantes naturales de los revocos interiores sin aditivos y de diferentes colores según la tierra del lugar. Los mimetismos con el paisaje y la integración de la decoración con elementos del entorno son huellas fácilmente identificables, heredadas de las civilizaciones nómadas pero que se siguen aplicando en la arquitectura actual.

Tanto en el sur de Texas, Nuevo México, como el mismo México se caracterizan las edificaciones de adobe, estas en su mayoría son pequeñas viviendas aisladas, combinadas en algún caso por la presencia de capillas religiosas.

Una de las características más singulares de la estructura espacial, en el caso de la arquitectura habitacional colonial y republicana del siglo XIX y principios del XX es el uso del patio centralizador alrededor del cual se tienen las habitaciones. Esta estructura hace adecuado al edificio a las condiciones climatológicas tan agresivas del entorno, sobre todo en las zonas desérticas. (Fotos 3.8 y 3.11)



Foto 3.8 Vivienda unifamiliar denominada Terra Numa, Desierto de Sant George, Ivins, Utah, EEUU. Fuente: <http://www.pinterest.com>



Foto 3.9. Vivienda unifamiliar Taos, Nuevo Mexico Fuente: <http://www.pinterest.com>



Foto 3.10 Capilla del pueblo de Taos. Nuevo Mexico. Fuente: <http://www.pinterest.com>.Lucia Garzón



Foto 3.11. Centro comercial en Nuevo México Fuente: <http://www.pinterest.com>

Latinoamérica

En toda América Latina predominó el empleo de la tierra cruda en las llanuras fluviales y costeras. Las diferentes civilizaciones desarrollaron masivamente el empleo de este material con la fabricación de adobes para los muros portantes, de las plantas bajas de las edificaciones, y la quincha o bahareque (sistemas de entramados flexibles) para aligerar la estructura de las plantas superiores. Todos los países que se localizan a lo largo de la cordillera de los Andes, sobre todo Perú, han demostrado una buena supervisión y aplicación de mejoras técnicas en las edificaciones de tierra cruda. Son pioneros y referentes en la adecuación de estas construcciones en su comportamiento frente a eventos sísmicos.

La arquitectura de sus centros urbanos aún mantiene el patrimonio realizado en adobe y quincha y, como revocos, se utilizan los morteros de cal coloreados como identidad social y cultural. (Foto 3.12)



Foto 3.12: Edificación de adobe y quincha en casco urbano de Lima y vista de la aglomeración en barrios del extra radio de la ciudad (Peru)

Los ejemplos son tan variados que se destacan solo algunos, como referencia, ya que el patrimonio latinoamericano se expande por todo el continente, como legado de las culturas precolombinas y las coloniales hispánicas. Previas a estas, antiguas civilizaciones construyeron fortalezas que las de Chan Chan, del reino chimú, que conoció su máximo esplendor en el siglo XV, poco antes de sucumbir al poder del Imperio Inca. Estos modelos aún pueden ser valorados y conservados gracias a los avances en la aplicación de técnicas de tierra cruda. (Foto 3.13)



Foto 3.13: Complejo arqueológico de la fortalez milenaria de Chan Chan Fuente: <http://whc.unesco.org/es/list/366>

Sucede lo mismo casi que en todos los países, la influencia cultural de las tradiciones se mantiene más afianzada. La preexistencia de la cultura permite la ejecución de técnicas populares para mantener los recursos más accesibles y económicos, donde la influencia de una realidad socio-económica obliga al desarrollo de medios autóctonos y a la autoconstrucción. Pero también genera tendencia en la arquitectura de vanguardia que mantiene el concepto del uso correcto de los recursos materiales naturales y la integración con el paisaje. (Foto 3.14 y 3.15)



Foto 3.14: Vivienda unifamiliar Munita Gonzalez, Chile
Fuente: <http://www.plataformaarquitectura.cl/2010>



Foto 3.14: Hotel Tierra Atacama, San Pedro de Atacama, Chile
Fuente: <http://www.chilearq.com/2008>

Los centros de investigación latinoamericanos que forman parte de las principales redes de conocimiento en Latinoamérica (Proterra y Cyted), como un fiel reflejo de lo que promueven, han creado en las universidades a las que pertenecen, tanto en Perú, Chile como Argentina, centros de dedicados a la difusión y estudio de la tierra cruda. Utilizan sus instalaciones como laboratorios de construcción para las pruebas y ensayos que realizan en las tareas docentes y de investigación. (Foto 3.15 y 3.16)



Foto 3.15. Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura en Tierra Cruda – CRATIC – Tucuman, Argentina



Foto 3.16: Edificios con proyeccion de mortero de arcilla sobre malla metálica. Marcelo Cortes - Chile Fuente: <http://www.marcelocortes.cl/>

- Europa

En Europa, las edificaciones que aún existen construidas con tierra cruda, son principalmente bienes inmuebles de carácter monumental, de diverso valor patrimonial, con diferentes grados de protección y valoración cultural. Por otro lado, la arquitectura doméstica, ofrece un catálogo amplio de ejemplos que conforman poblados enteros, mantenidos en el tiempo dada la conciencia de valorización de culturas y tradiciones pero se halla dispersa en el territorio en estado muy diferenciado de conservación, y con tipologías constructivas muy diferentes (Fotos 3.17 y 3.18).

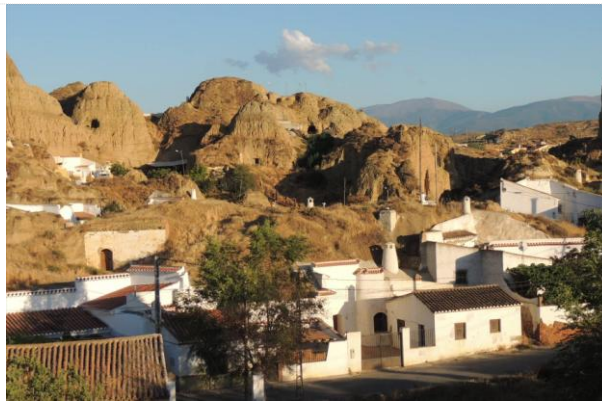


Foto 3.17 Casas cuevas Guadix, Granada. España



Foto 3.18 Casas de entramado en Wittstock, Brandennurg. Alemania

El ámbito económico-financiero de la Comunidad Europea, busca alcanzar objetivos de cooperación regional y trasnacional tanto en la investigación científica como en la movilización de proyectos de financiación permitiendo el flujo de personas y ayudas para mejorar una de sus principales industrias: el turismo internacional.

El amplio patrimonio construido en tierra cruda se descubre de forma diferente según las diversas arquitecturas regionales en Europa¹². Esta arquitectura es testimonio del arte de construir tradicional pero frecuentemente es puesta en entredicho al haber sufrido, en estos últimos

¹² El Catálogo de TerraIncognita (2012) reúne ejemplos de referencia de los países europeos que poseen patrimonio edificado en tierra cruda; organiza información sobre los diferentes sistemas constructivos vigentes y se complementa con proyectos posteriores que desarrollan documentación actualizada con fines de estudio y discusión sobre la arquitectura vernácula mundial en tierra como elemento de preservación obligada. Como ejemplos significativos se encuentran los proyectos internacionales de referencia: Restapia (2012), VERSUS (2014) y Pirate (2014) Siendo este último el que se desarrolla dentro de un

decenios, trabajos de renovación poco adecuados para su preservación en el mejor de los casos. En otras ocasiones han sido destruidas o han dado paso a soluciones de la arquitectura convencional. Cuando se estudian sus características arquitectónicas se ponen en valor cualidades como la de generar bajo impacto ambiental y las cualidades sanitarias reconocibles, que unidas al compromiso actual en el desarrollo sostenible, argumentan las razones para producir y difundir documentos de estudio con el objetivo principal de mantener en servicio estas construcciones. (FFB, 2012).

En muchos países de Europa se adopta, como solución generalizada de protección de las edificaciones de tierra cruda, el revestir los exteriores de los muros con mortero de cal aérea y arena, lo que garantiza eficazmente una buena resistencia a las afecciones por humedad. Este tipo de mortero, que presenta más que demostradas cualidades como revestimiento exterior, se aplica además en varios tipos de mamposterías y su resultado unifica las superficies. (Foto 3.19)



Foto 3.19 Acabados de revocos arcilla con cal en el exterior y revocos sin aditivos pintados en interior. Cortijo de Alentejo. Portugal

El uso de la tierra y la cal determina una seña de identidad de muchos sitios, como los “pueblos blancos de Andalucía”, y aporta una estética homogénea que se valora como lenguaje de permanencia de las tradiciones arquitectónicas locales. Por el contrario, este aspecto impone una uniformidad en los acabados de las superficies que impide reconocer el material empleado en los muros. Esto impide identificar tipo de edificaciones y procesos de construcción en diferentes épocas excepto que se profundice en su estudio. Cabe señalar que la **cal aérea** para ser empleada en los revestimientos de edificaciones en tierra no es fácil de obtener en lugares económicamente deprimidos y se puede diferenciar su utilización en zonas más prosperas a nivel económico, social y cultural. Desaparece pues su empleo en zonas donde es difícil su disponibilidad o costosos los medios de transporte.

Por el contrario, siempre que se construye con tierra cruda se trata de que el revestimiento se materialice con la misma tierra del lugar, fundamentalmente por su disponibilidad. Si esta tierra, en particular, no fuese la adecuada debido a su granulometría o tipo de arcilla, lo frecuente es que se le hayan añadido eventuales aditivos para la mejora de la durabilidad del mortero (Mattone, 2005) (Foto 3.20)



Foto 3.20 Acabados con revocos de arcilla en el Centro de Visitantes EDEN, Cornwall, UK. Fuente: <http://www.culture-terra-incognita.org/>

- España

En España existen numerosas poblaciones que aun poseen un variado conjunto de edificaciones de tapias, adobes y entramados, sobre todo las localizadas en la zona septentrional de la península, donde se conservan las construcciones ancestrales que han sido mantenidas por el rigor de la tradición. La argumentación destinada a la defensa de la recuperación, restauración y rehabilitación para la conservación del patrimonio cultural, sostienen la renovada vigencia de la tradición histórica constructiva de ciudades donde sus contextos socio-económicos aportan nuevos valores de competitividad y sostenibilidad, poniendo en valor el patrimonio construido como escenarios de fomento turístico. (Foto 3.21 y 3.22)



Foto 3.20 Hostal de adobe y entramado rehabilitado como hostel para turismo rural Valdemaluque - Soria



Foto 3.22 Palomar rehabilitado para Centro de Interpretación Casa de Campos. Valladolid

Las construcciones en tierra cruda, son en este momento un elemento más como factor de análisis dentro del catálogo de edificios existentes, con el atractivo suficiente para generar la recuperación de la identidad histórica y un nuevo escenario para el fomento de la actividad turística de determinadas zonas del territorio español.

El **control** en todas las fases de elaboración y ejecución de las obras en intervenciones sobre inmuebles patrimoniales debe ser ejercido con suficiente base científica y dentro de procesos eficaces que **garanticen su durabilidad** y referencia tal como hemos recibido los restos que ha pulido el tiempo. (Fotos 3.23 y 3.24)



Foto 3.23 Hacienda rural de tapia revocada. Pinar de Antequera. Valladolid



Foto 3.24 Construcciones de tapia y adobe revocadas Granadillas, Cáceres.

- Andalucía

La arquitectura realizada con tierra se presenta en nuestro entorno más cercano, como un referente de las **técnicas constructivas vernáculas** puestas en práctica cuando los **materiales, las técnicas constructivas o los medios auxiliares** reflejaban un modo de hacer tradicional mediante la optimización de los recursos locales.

Como en casi toda Europa, la localización de los ejemplos edificatorios en tierra, en el sur de España, se distinguen principalmente por modelos de la **arquitectura residencial doméstica o la monumental**. De forma diferenciada conforman un **elevado número de ejemplos** de importante valor patrimonial que conforman un vasto catálogo de ejemplos distribuidos por todas las provincias andaluzas.

En Andalucía la tradición de la construcción con tierra se retrotrae a épocas de **conquista árabe o el legado romano** con proyección hasta nuestros días, con numerosos tipos de edificaciones: torres vigías, fortalezas, castillos, palacios.

Hace pocas **décadas**, el argumento de que la técnica constructiva con tierra cruda estaba afectada por la **tendencia a desaparecer** se sustentaba, fundamentalmente, en la **falta de valoración** de la aplicación de alguno de sus sistemas constructivos y en la **escasez de especialistas** en la práctica de la solución constructiva. Las experiencias en las intervenciones en el patrimonio se van perfeccionando y cada vez hay más rigor en los materiales aplicados y el mantenimientos de los modelos más representativos de nuestra cultura.(Fotos 3.25 y 3.26)



Foto 3.24 Revoco con mortero de cal sobre tapia
Rehabilitación Palacio Marquese de Algaba - Sevilla



Foto 3.25 Reconstrucción de espesor de lienzo de muralla con mortero de arcilla
Muralla de Niebla. Niebla, Huelva.

3.3.- CONTEXTO TÉCNICO

3.3.1.- Aspectos constructivos y especificaciones técnicas

Los revestimientos configuran el escudo protector exterior para la preservación, conservación y mantenimiento de los muros, que pueden cumplir función de soportes portantes de la estructura o elemento de cerramiento. Hay que considerar que los morteros para revestimientos protegen al muro soporte de la intemperie, de las agresiones que puede provocar la acción del agua, y forman parte en la estética de una fachada. Pero como también son revestimientos de interior, la composición del mortero que se utilice para una función u otra es fundamental, principalmente porque el revoco debe permitir la respirabilidad al vapor de agua del soporte. La dosificación de los componentes debe controlarse en todos los casos, y en particular cuando se emplean morteros de arcilla con aditivos hay que establecer la dosificación adecuada para que la presencia de conglomerantes hidráulicos, si los contiene, no impidan este proceso, sobre todo en los soportes de tierra cruda.

Como con cualquier otro producto, para establecer criterios de aplicación del revestimiento con morteros de arcilla se deben adoptar decisiones a nivel técnico. No solo es necesario un adecuado conocimiento del propio material de revoco y la superficie a revestir sino que se deben seguir una serie de pasos para la toma de decisiones: desde el estudio previo de las características del contexto de la edificación, del propio muro o superficie a revestir, hasta los condicionantes técnicos que podrían influir en consideraciones especiales de la puesta en obra. En cuanto a las condiciones de los revestimientos de paredes interiores es necesario diferenciar que, al influir en menor medida en la relación entre la durabilidad o estabilidad estructural del muro, lo importante es controlar el confort higrotérmico del edificio que es directamente proporcional a la porosidad del mortero puesto en obra.

Una de las soluciones habituales en la arquitectura vernácula, la utilización del revoco de arcilla con agregado de cal o yeso, ha servido tradicionalmente como recurso de mantenimiento y mecanismo regulador de la salubridad de los muros. El revestimiento no solo se aplicaba para proteger la fachada de los edificios sino también en las estancias interiores. Cuando escaseaba la cal en la zona, se recurría al yeso para usarlo como aglomerante y estabilizante del mortero para revestir tapias o muros de adobe¹³.

¹³ La mezcla de barro, paja y yeso o barro, paja y cal se hacía para la preparación de morteros de revestimientos de los muros exteriores para garantizar la resistencia a la erosión frente a las inclemencias del clima; los morteros solo de cal o solo de yeso se utilizaban en el interior. Estos materiales han formado parte de múltiples tipos de aplicaciones en la arquitectura popular tradicional como acabado de suelos y en techos como cielorrasos.

El encalado de los muros, que consiste en apagar terrones de cal viva en agua para obtener una pasta fluida que se utiliza a modo de pintura para revestir los muros, es una tradición de uso más o menos frecuente que aún se mantiene. Normalmente, se aplica coincidiendo con los cambios estacionales, y constituye una sana costumbre para la conservación de la arquitectura popular residencial. Además de la economía que significa su aplicación, son reconocidas las propiedades antisépticas que otorga la alcalinidad del material que impide el desarrollo de organismo bióticos (hongos y bacterias), a lo que hay que sumar la buena permeabilidad del revestimiento de cal al vapor de agua que permite regular la transpiración de los muros favoreciendo su resistencia frente a la humedad.

Esta acción de mantenimiento del patrimonio vernáculo, es una tradición instaurada que se mantiene principalmente en muchas zonas de clima cálido, como en Andalucía o el litoral mediterráneo, donde el blanco de su arquitectura se relaciona directamente con las características estéticas propias de una cultura y se transforma en un hito utilizado como referencia¹⁴. Pero también hay que señalar que, en realidad, se suma otra propiedad a las ya mencionadas, esta técnica es una solución eficiente que, a través de la reflexión de la radiación directa del sol sobre las superficies de los muros, se consigue una baja absorción térmica de la envolvente. Este efecto permite una regulación del confort interior de los ambientes en los diferentes estadios climatológicos, frescos en verano y cálidos en inviernos rigurosos.

Si se analizan los sistemas constructivos en tierra cruda, las tapias, por tradición histórica se revestían con revocos de arcilla o encalaban, como costumbre explícita frente a su protección y mantenimiento, o como recurso de decoración para simular sillares de piedra que decoraban el muro para expresar técnicas o símbolos culturales. Lo extraño es que actualmente numerosos ejemplos de edificios hechos de tapia no se encuentran revestidos, se deja supeditada la conservación del muro a la relación entre el grado de compactación y espesores resultantes del muro que puede oscilar entre los 80 a 200 cm, en edificaciones de más de una planta.

En fábricas de bloques de tierra comprimida (BTC), cuando se logran más de 40 cm de espesor con mampuestos estabilizados, se puede estimar una buena conservación de la fábrica en la cara interior del muro. Hacia la cara exterior de la envolvente vertical, resultan efectivo frente a la durabilidad que la protección externa se materialice con lechas de barro y cal o revocos de arcilla. Además, cuando se describen estos sistemas de construcción, con elementos de tierra cruda, hay que aplicar unos mínimos criterios de conservación en el diseño y la ejecución.

¹⁴ Se distingue, como ejemplo, los “Pueblos Blancos” por el uso en sus fachadas de revestimientos en color blanco como imagen de la cultura tradicional andaluza, siendo uno de los “eslogan” más utilizados para la atracción turística en sur de la península ibérica.

Incorporar siempre a la base o arranque del muro zócalos resistentes que aíslen el revoco del contacto directo con el suelo o superficie horizontal y colocar drenajes perimetrales para evitar la ascensión de la humedad por capilaridad. En las zonas superiores de los muros la presencia de voladizos o aleros de protección en el remate o por extensión de la cubierta, son condicionantes que deben incluirse en el proyecto (Castilla, 2011).

3.3.2.-La importancia del uso de materiales naturales en los morteros de revestimiento.

Las técnicas constructivas que utilizan tierra cruda suponen soluciones arquitectónicas de las más sostenibles que se pueden utilizar, en la actualidad, puesto que los materiales que se emplean son propios del lugar, de un contexto cercano. El bajo coste económico de obtención, traslado del material, ausencia de elementos tóxicos, o potencialmente tóxicos, en su composición lo transforman en un producto de construcción altamente reciclable y con producción nula de residuos. El poder reciclar los materiales sin perder propiedades en sus ciclos de reutilización y que lo que genere pueda ser considerado como un alimento para la Tierra, una vez finalizado su proceso de vida, es lo que en *“Cradle to cradle”* se denomina *“la necesidad imperiosa de cambiar cuanto antes y empezar una segunda revolución industrial”* (Braungart, 2005)

Las experiencias de aplicación de revocos de arcilla, como se descrito en apartados anteriores, reflejan culturalmente la intención de mantener las propiedades, características y prestancia de los muros sobre los que se aplican. La capa exterior cumple la función de escudo protector y la capa interior permite el control higrotérmico de la estancia que envuelve. Los resultados energéticos no pueden evaluarse sólo por la capa de revestimiento, dependerán fundamentalmente de los componentes de la envolvente, tanto por su aislamiento térmico y acústico como por la inercia térmica que presente, pero contribuyen al comportamiento del conjunto.

Por lo tanto, en el análisis de las ventajas de la aplicación de revocos de arcilla lo que prima, al igual que para otras técnicas para la construcción de los muros, que los materiales que se emplean han evolucionado y permiten una gran variedad de soluciones formales acordes a cada situación y función (Castilla, 2011). En la última década, los ejemplos contruidos con sistemas estructurales basados en tierra cruda, en la mayoría de los casos, usan también el mortero de tierra arcillosa para el revestimiento y conservación de los muros. Esta circunstancia, genera modelos para contrastar como puede ser una opción más de producto de construcción. A partir de estos testimonios se replantea la aplicación de técnicas y materiales tradicionales brindando mayor economía en la ejecución de la obra y un sistema de protección ecológico con garantías fiables de cumplir funciones constructivas adecuadas.

En la actualidad, los campos de acción donde se pueden utilizar revocos de arcilla, ya no solo está limitado a la restauración y conservación de edificios que pertenezcan al patrimonio histórico construido con tierra cruda o mampostería, sino que se encauzan sus posibilidades en el campo de la arquitectura en general. Obviamente, la utilización del producto necesita afianzarse con la comprensión y difusión de sus propiedades para que, a pesar del desconocimiento en algunos aspectos técnicos, se pueda o se deba aprender de acciones de referencia que avalan la respuesta del producto.

En otros ámbitos, como en países de Latinoamérica, los avances de esta temática, a nivel técnico, ha tenido un enfoque diferente. La economía de medios y los bajos recursos han servido de argumento para el perfeccionamiento de técnicas tradicionales y preparación en el aprendizaje del uso de los materiales autóctonos dentro de las mismas comunidades sociales. Con este método de transferencia del conocimiento científico se ha buscado la solución a la vivienda de bajo coste y el fomento de la autoconstrucción como recurso para el desarrollo de zonas deprimidas.

En Europa, ya hace unos años, la expectativa de regreso al estudio y aplicación de técnicas tradicionales y los avances en el conocimiento de la construcción en tierra cruda, tiene como objetivo justificar un material y sistemas constructivos más económicos, sostenibles e igualmente eficaces en determinadas condiciones de la edificación, incluso tomando como opción argumental el legado cultural del medio.

- Sostenibilidad y ahorro energético

Los materiales naturales toman importancia frente a los que en su proceso de industrialización provocan un gasto energético que debe ser controlado y con los que las emisiones de CO₂. La tierra como material se considera renovable, debe mantenerse y conservarse adecuadamente para cumplir su función principal de ser reciclable y cuya técnica de utilización en construcción debe evolucionar para poder optimizar estas propiedades.

La puesta en valor del patrimonio cultural y arquitectónico que ofrecen las soluciones de cerramiento con tierra cruda, pasa por la protección y mejora de la superficie de los cerramientos que cumplen con los requisitos de ser compatibles con los revocos de arcilla: bajo coste, eficiencia energética y minimización de recursos. Por ello, es importante establecer una clasificación y análisis de los revestimientos empleados en la construcción y valorar si cumplen con las mismas cualidades que los revocos naturales. Pero además, hay que verificar que los revocos de arcilla son compatibles con otras superficies soportes que no sean los muros de tierra cruda, para ampliar las opciones de integración al mercado de los revestimientos como alternativa de solución eficaz.

Al igual que se empleara en la arquitectura popular, la tierra sigue constituyendo un material que, combinándose con otros materiales (minerales, vegetales) reduce los residuos de la ejecución en obra y forma parte de la oferta de soluciones diversificando otros sectores productivos existentes en el tejido económico primario.

Los morteros de arcilla son un producto no estandarizado, normalmente los tipos de productos varían mucho dependiendo de las características y procedencia de la materia prima. Todos los productos constructivos que utilicen tierra cruda no producen contaminación ambiental, por lo tanto, los morteros de arcilla tampoco y más si se los compara con los materiales industrializados que se emplean en la construcción.

La energía necesaria para la preparación, transporte y utilización con estos morteros, cuando la materia prima procede de la zona en la que se hace la obra, requiere sólo entre un 1% a 5% de energía comparándola con la que necesariamente se consume en la producción de cemento, en la elaboración y transporte del hormigón armado o en la fabricación de ladrillos cocidos (Minke, 2014). Como la materia prima, por lo general, se encuentra en un entorno cercano a la obra, se economiza en costos de transporte y si tiene suelo reutilizable procedente de otras obras, solo necesita ser triturada, cernida y humectada nuevamente.

Si se considera el costo energético de otros productos compatibles con la arcilla y que pueden ser aditivos en la composición del morteros, para la producción de la cal aérea artesanal a partir de la piedra caliza, se necesita una temperatura de cocción en horno artesanal de entre 900° a 1100° C, con un consumo de energía de 3200 KJ/kg, o sea 760 kcal/kg. Para convertir la piedra de yeso en sulfato de calcio hemihidrato o polvo es necesaria una temperatura de más o menos 163°C, con un desgaste calórico de 590 kJ/kg, o sea, 140 kcal/kg, demostrando un importante ahorro energético.(Mattone, 2005)

- Opciones de producto: reciclaje, reutilización

La tierra, está recuperando todo su protagonismo dada la revalorización de sus principales cualidades como material inerte, de bajo impacto ambiental con un ciclo de vida cero, reutilizable y que no genera residuos contaminantes. Su utilización en la construcción se ampara en el argumento de sus innumerables beneficios para la salubridad y confort de los ambientes, siendo uno de los principales componentes utilizados en la construcción ecológica. (Barcena, 2004)

El mortero de arcilla, producto totalmente natural, es capaz de regular la humedad, favorecer el ahorro energético por la elevada inercia térmica que todas las tierras tienen en general, mejorar la absorción de olores y ser un eficaz aislante acústico. Todos estos aspectos lo transforman en un material alternativo para los revestimientos interiores donde va ganando un importante hueco en el sector.

La influencia de la mayoría de los materiales que nos rodean no está aún analizada, muchos ingredientes que los componen no se declaran y si contienen nuevas composiciones, no se conocen los efectos aún. Algunos porcentajes que se declaran se mencionan en un porcentaje muy bajo, sin tener la garantía de que se trata de un material inocuo. Se conocen más de 50.000 sustancias tóxicas usadas en la construcción y decoración con efectos nocivos que se siguen comercializando.

La proliferación de ciertas enfermedades tales como intolerancias a las sustancias químicas (SQM), la electrosensibilidad con muchas variedades o distintos tipos de alergias pueden tener su origen en el edificio que se habita. En el interior de las edificaciones modernas, debido a determinadas condiciones ambientales, materiales tóxicos y excesivo consumo de energía artificial, se presentan un conjunto de molestias, para el ser humano, causadas por factores contaminantes. Debido a estas circunstancias nace el concepto del Síndrome del Edificio Enfermo, acuñado por la OMS, Organización Mundial de la Salud, justificando que el 20% de la población occidental está afectada por estas condiciones de entorno habitacional. (Barbeta, 2002)

El conocimiento, después de más de 50 años, de las consecuencias de las sustancias químicas derivadas de los procesos industrializados de fabricación de los materiales empleados en la construcción y la responsabilidad que deben asumir tanto arquitectos como constructores, obliga a plantear, desde el campo de la investigación, nuevas opciones de productos, la aplicación de tecnologías más orgánicas y medioambientalmente correctas.

La motivación real y la oportunidad que se presenta para utilizar productos naturales, siendo en muchos casos complicados de conocer y estudiar, no sólo incluyen la etiqueta de ser ecológicos, sino que han demostrado con argumentos, poco rebatibles, favorecer la concepción de una arquitectura más saludable y respetuosa con el medioambiente.

La necesidad de difundir los conocimientos de los materiales naturales, como alternativa de calidad, impulsa a la evolución de la construcción y de la nueva arquitectura. Se debe abandonar el concepto que tienen algunas soluciones arquitectónicas individuales, localistas donde interfiere cada usuario como propietario o como conjunto comunitario, en la construcción de modelos ejemplares a modo de experimentación en la bioconstrucción.

Diversos materiales son compatibles con la tierra cruda y debe demostrarse que la tierra arcillosa utilizada para los morteros de revoco también es combinable con otros productos de la construcción. Deben eliminarse las sustancias tóxicas que se han usado en varias ocasiones como medidas de experimentación¹⁵

Para establecer pautas concretas de manipulación, dosificación, preparación y aplicación hay que tener en cuenta que, a pesar de que la tierra arcillosa es un material económico y abundante, la dificultad real de establecer parámetros de control en su extracción, acopio, transporte y comercialización enfrenta las cuestiones de protocolo comercial a los argumentos de material accesible, barato por la facilidad de obtención y cercanía.

El traslado a pie de obra de un volumen adecuado de tierras, para las tareas que se requiere, puede no ser tan viable tal como en un comienzo pueda estimarse. Las condiciones de proyecto repercutirán en las mediciones y el presupuesto de ejecución material, dependiendo de la unidad que se valore. Según se trate de un elemento estructural, como un muro de tapia compactada o una fase avanzada como la de acabados de los muros, la adquisición, traslado, acopio y utilización del material se realiza en superficies extendidas o contenidas en pocos metros cuadrados por jornada o en diferentes puntos por cuadrillas especializadas.

- Investigación, desarrollo e innovación

Los avances logrados en los últimos quince años en el estudio, análisis, recuperación, revalorización y difusión de las técnicas de construcción en tierra cruda, no son suficientes para llenar vacíos que aún persisten en el campo de la investigación de esta temática. Se plantea la necesidad de desarrollar trabajos más específicos acordes con los tiempos actuales y enfocados a la aplicación y formación en el campo profesional y técnico, especialmente en lo referente a las técnicas de protección, revestimiento y acabado de este tipo de construcciones.

Los trabajos de investigación, tanto en el ámbito nacional como en el internacional, están generando una base científica relevante y de alto nivel que se fundamenta, principalmente, en experiencias aplicadas durante generaciones. Se continúa así con el desarrollo de la arquitectura tradicional y, gracias a un planteamiento más científico en la resolución de problemas, se logra profundizar en la recuperación de técnicas constructivas ya olvidadas.

¹⁵ Pruebas de campo realizadas con cemento y asfalto para mejorar las resistencias y trabajabilidad de los morteros y de los mampuestos de tierra cruda.

Si retrocediéramos unas décadas atrás, principalmente en el ámbito de los países desarrollados, la perspectiva del uso de técnicas constructivas con tierra cruda ha estado abocada a desaparecer debido, principalmente, a la carencia de conocimiento técnico por parte de los profesionales y responsables del mantenimiento de los edificios y a la falta de especialización de la mano de obra. El contrapunto de esta situación se sustenta de la existencia del edificio construido que ha permanecido en pie a pesar del tiempo (décadas y siglos) y del hecho de que no haya habido conservación ninguna o se abandonara por falta de uso. Aunque la realidad es que el proceso natural de ese abandono conlleva a que el edificio, poco a poco acabe perdiendo su protección, quede expuesto a las agresiones de su entorno y el deterioro progresivo lo lleve a la ruina.

Esta tendencia generalizada en muchos países de Europa y, desde luego, en España, se ha visto desafiada en las regiones donde la construcción en tierra cruda forma parte del patrimonio de la vivienda residencial de capas sociales bajas. El problema de asistencia técnica tiende a fomentar planes de desarrollo local con el fomento de actividades para el aprendizaje y defensa de técnicas autóctonas que mediante la autoconstrucción solventan el mantenimiento de una cultura de tradiciones ancestrales.

A pesar de esta equivocada imagen de deterioro que se asocia a las construcciones de tierra, el avance logrado en el campo de la investigación ha permitido establecer cuáles han sido tradicionalmente los materiales empleados y los métodos de ejecución de cada una de las técnicas que utilizaban la tierra como materia prima. Los encuentros temáticos en seminarios y congresos de especialistas¹⁶ promueven y fomentan el intercambio de información, de experiencias de aplicación y ponen en evidencia el paralelismo que se está produciendo en la actualidad en la realización de algunas tareas de investigación.

Las fuentes documentales más recientes y actualizadas que se publican en España sobre el estudio de los revocos de tierra cruda, se desarrollan fundamentalmente en tesis doctorales¹⁷ y trabajos fin de Máster¹⁸ que avanza sobre el estudio de la temática de los revestimientos, todos realizados, principalmente, en la Universidad Politécnica de Cataluña y la Universidad Politécnica de Madrid.

¹⁶ Seminarios Internacionales como los SIACOT (Seminarios Iberoamericanos de Construcción con Tierra) han reunido a los mejores expertos, tanto de Latinoamérica como de la Península Ibérica, durante décadas relacionándose para el intercambio con los grupos de investigación dedicados a este tema en el ámbito internacional avalados principalmente por CRATERre, ICCOMOS y la Fundación Getty.

¹⁷ El primer trabajo de Tesis en España que acota el tema de la estabilización de la tierra dentro de la arquitectura sostenible del siglo XXI y hace una descripción general de los sistemas constructivos en tierra cruda es de Gabriel Barbeta (2002) de la Universidad Politécnica de Cataluña. Posteriormente se han publicado trabajos de investigación específicos sobre estabilización de suelos o de BTC, hasta que Francisco Castilla (2004), de la Universidad Politécnica de Madrid, publica su tesis que específicamente desarrolla la estabilización de morteros de barro como protección de muros también de tierra cruda. Estos trabajos han sido de referencia a otros de publicación posterior en los últimos diez años aunque principalmente dentro de trabajos de tesinas de fin de Másteres.

Y en cuanto a artículos científicos, también son numerosos los publicados en los últimos cinco años, pero el contenido introduce sólo algún apartado sintético sobre revocos y siempre en relación con los sistemas constructivos de los muros.

Los pocos textos específicos sobre esta temática publicados¹⁹ en los últimos diez años, exponen una gran diversidad de soluciones constructivas, productos y criterios de intervención para la conservación del patrimonio existente que pone de manifiesto la necesidad de apostar por la preservación del patrimonio edificado mediante la generación de políticas comunes, aplicación de métodos concretos de aprendizaje para su conocimiento y la enseñanza de técnicas tradicionales para su mantenimiento y conservación como estrategias más adecuadas.

En el ámbito de la tierra cruda, comparado con otros materiales de construcción, el escaso contenido de fuentes documentales ha empobrecido la bibliografía, los estudios de investigación no se han difundido suficientemente y se encuentran muy dispersos. Este es uno de los motivos que ha impedido mejorar los criterios de intervención o que se hayan realizado obras con soluciones erróneas que se transforman, a corto plazo, en la causa de síntomas o aparición de lesiones perjudiciales para la necesaria conservación del bien inmueble en el que se ha intervenido.

En cuanto a temas desarrollados sobre revestimientos, específicamente, se describen estudios en base a morteros de tierra con dosificaciones muy concretas o bien aplicaciones muy acotadas según las condiciones del muro, dado la heterogeneidad de muestras que se pueden preparar como elementos de verificación para obtener un mejor resultado. Las principales justificaciones de estos estudios están destinadas a la comprobación de morteros de tierra con fibra sobre edificaciones también de tierra cruda²⁰ o sobre soportes de paja, denominado “straw ball”. En este último caso, el revoco de tierra arcillosa es la solución más adecuada para el revestimiento, con suficiente agarre y compatibilidad natural con la base soporte del muro vegetal; también en la combinación de estos sistemas es donde prevalece el criterio de aplicación de materiales naturales que configuren un modelo integral de construcción sostenible. (Schroeder, 2015)

¹⁸ Dentro de másteres que engloban la temática sobre arquitectura y sostenibilidad, los últimos trabajos desarrollan la caracterización de los tipos edificatorios en tierra cruda como el de Beatriz Yuste, 2010, o a través del estudio comparativo de técnicas contemporáneas de la construcción en tierra en especial el trabajo de Fabio Gatti, 2012

¹⁹ El listado de la bibliografía específica sobre revocos de barro avalados por entidades como Craterre - Centre International de la construction en terre y la FBB - Fédération Française du Bâtiment (Federación francesa de la construcción) y diversos grupos de investigadores, de universidades y asociaciones dedicadas a avanzar en la actualización de sustentabilidad de la arquitectura vernácula se señala en el capítulo de Bibliografía de esta investigación, siendo los más recientes los publicados por Minke (2014), FBB (2012) y los artículos en pdf de Didier-Feltgen (2005)

²⁰ El trabajo de fin de máster de Vanesa Gonzalo Sánchez, de la Universidad Politécnica de Madrid, por ejemplo evalúa experimentalmente los morteros de barro estabilizados con fibras de paja, esparto y sisal para su uso como revestimientos y, por otro lado, en la Universidad Politécnica de Valencia, el equipo de Antonia Navarro trabaja con la metodología de estudio y experimentación de revocos con fibras vegetales para revocos de muros de tapias

La última década, varios países europeos, concretamente Francia y Alemania, mediante entidades públicas²¹ o comisiones multidisciplinares²² estudian la forma de generar trabajos de cooperación, difusión e investigación sobre los revocos de arcilla para soportes de tierra cruda. Se han creado proyectos europeos para generar encuentros locales e internacionales y centros de formación para el intercambio de conocimientos con la intención de dar mayor publicidad a este producto y favorecer la especialización de la mano de obra en un oficio con opciones crecientes de salida laboral, sobre todo en la rehabilitación de edificios patrimoniales.

En la recomendación del Parlamento Europeo del año 2009, se plantea la creación de un Sistema Europeo de Transferencia de Créditos para la educación y la formación profesional, como medio para implantar los procesos de homologación y movilidad laboral en la Unión Europea. El sistema ECVET, referenciado en el apartado 3.1 de este mismo capítulo, promueve un nuevo perfil de formación profesional en Europa gracias a cursos personalizados en diferentes países. Se pretende que la capacitación en un oficio sea extensible a varios países, lo que favorece la movilidad profesional.

La certificación para obtener las aptitudes profesionales para intervenir en sistemas de construcción con tierra cruda, surge del documento fruto de varios años de trabajo de un grupo formado por varios gremios profesionales. El documento se denomina “ECVET Earth Building Handbook - Procedural Instructions for ECVET Earth Building” (ECVET, 2009) y consta de seis módulos de aprendizaje.

Actualmente, se encuentran desarrolladas las 6 unidades evaluables referidas a los revocos de arcilla, ya que en los países patrocinadores (Francia y Alemania) se considera que este producto genera la principal actividad del sector de la construcción en tierra cruda. Cada unidad de aprendizaje está diseñada para que, a medida que se supera una unidad, el nivel de formación sea más específico y acreciente las competencias para las que habilita su certificación. Diversos países europeos forman parte de las opciones de cursado pero, es en Alemania, donde se puede conseguir completar todas las unidades y se puede obtener el título de “Decorador en revocos de tierra cruda”

²¹ En Francia, el ENTPE (École nationale des travaux publics de l'État), traducido como Escuela Nacional de Trabajos públicos del Estado Francés, a partir de los trabajos de la Comisión de Revisión del NF DTU 26.1 “Trabajos del edificio-Revestimientos con morteros de cemento, cal y mezcla de yeso y cal aérea” en 2006 y 2007 se plantea la necesidad de publicar un texto específico sobre revestimientos para soportes de tierra cruda.

²² En el año 2012 la FBB - Fédération Française du Bâtiment (Federación francesa de la construcción) publica Règles professionnelles pour la mise en oeuvre des enduits sur supports composés de terre crue como resultado de reuniones entre profesionales especializados en revestimientos sobre muros de tierra de las cuatro grandes regiones francesas de la construcción en tierra, además de la síntesis de diferentes documentos, experiencias aportadas por centros de formación, coloquios o intercambio de conocimientos entre obreros de diferentes países, para generar un protocolo que permita validar las prácticas actuales.

Para comprender el concepto de desarrollo temático y la innovación necesaria en nuestro ámbito más cercano, se resumen los contenidos de cada unidad de los ECVET para revocos de tierra cruda, en la tabla 3.2

Tabla 3.2

CONTENIDO de UNIDADES ECVET para CERTIFICACION PROFESIONAL ESPECIALISTA en REVOCOS de TIERRA CRUDA			
UNIDAD	OBJETIVO	CONTENIDO	CAPACITACIÓN DEL OPERARIO
FABRICACIÓN DE MORTEROS DE TIERRA CRUDA	Fabricar morteros de calidad	Conocimiento de propiedades, componentes del producto, tipo de dosificaciones y técnicas de preparación	Dosificar morteros de arcilla Aprender relación de agua y arcilla Aplicar diferentes técnicas
EJECUCIÓN DE REVOCOS DE TIERRA CRUDA	Uso correcto de máquinas y herramientas	Preparación del soporte, aplicación de revoco y acabado	Evaluar y Consolidar el soporte Decidir el sistema de revestimiento Organizar la obra Cumplir reglamento vigente
MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE REVOCOS DE TIERRA CRUDA	Evaluar estado de conservación de revocos antiguos y ejecución de revocos en obra de nueva planta	Identificación de lesiones y daños en edificios nuevos o antiguos, causas y reparaciones. Considerar aspectos patrimoniales, ecológicos o constructivos y gustos del usuario	Evaluar estado de conservación y peritación de lesiones y daños Aconsejar y aplicar soluciones Evaluar mantenimiento
DECORACIÓN INTERIOR Y EXTERIOR DE REVOCOS DE TIERRA CRUDA	Conocimientos en decoración interior y de gama de productos para revocos y pinturas	Conocimiento de gama de colores ofertados para los revocos y pinturas de arcillas Conocimiento de los efectos del color, del contraste, la luz Identificación de los componentes del soporte	Proponer proyectos estéticos de calidad Creación de nuevas dosificaciones de morteros utilizar aditivos, colorantes y conferir texturas
DECORACION CON REVOCOS DE TIERRA CRUDA	Desarrollar y perfeccionar conocimientos en decoración Saber elegir la estructura del revestimiento y herramientas adecuadas	Conocimientos específicos y desarrollo de aptitudes manuales Trabajo sobre el muro con la ayuda de calcos y moldes	Proponer proyectos estéticos de calidad formalizar el proyecto junto con el cliente Trabajar con relieves, motivos de color, modelado, esgrafiado
EL MERCADO DE LOS REVOCOS DE TIERRA CRUDA	Conocimiento del mercado de los revestimientos de tierra	Calcular el precio de mercado Establecer pautas de trabajo y negociación con un cliente o para el encargo del producto	Proponer estrategias de marketing buena gestión y duradera Evaluar necesidades actuales y clientes potenciales.

Como síntesis del enfoque que debería plantearse dentro del mismo sistema en España. En nuestro país, la formación profesional es coherente con la filosofía del Sistema Europeo de Transferencia de Créditos para la Educación y la Formación Profesional (ECVET), ya que el sistema de formación profesional se fundamenta en programas de aprendizaje modulares.

Las unidades formativas se diferencian claramente una de otra y sus contenidos expresan las verdaderas condiciones que se le exigen a los revocos de arcilla; además, constituyen un perfil de la realidad del producto y evidencia que agentes intervienen en su manufactura, distribución y ejecución como revestimiento, adaptados a las necesidades del mercado de la construcción actual en Europa.

Se entiende la innovación como una renovación de nuevos conceptos, criterios, procedimientos o productos. La relación de estos conceptos con las técnicas aplicadas en la arquitectura está logrando materializar el avance notorio en la difusión de la tierra cruda como un material más a emplear en la construcción arquitectónica actual y la aplicación de los revocos de arcilla está influyendo en este mecanismo activador.

- Tendencias actuales. Emprendedores, aplicadores.

Aunque en el apartado de las acciones o intervenciones en obras de tierra, los ejemplos de intervenciones siguen materializándose principalmente sobre el patrimonio construido, cada vez existen más modelos y propuestas de obra nueva que emplean sistemas constructivos o revestimientos de tierra cruda. Se encuentran de forma aislada y suelen ser el resultado de condiciones de encargo muy concretos de una propiedad. (Fotos 3.26 a 3.30)

De la misma manera, en poco tiempo en España, han surgido empresas que aprovechando la diversificación necesaria del comercio de las arcillas, se suministran del material para ofrecer productos para revocos naturales. Lo que antes solo consistía en la explotación de algunas canteras de arcillas para la industria cerámica, ahora son la fuente de abastecimiento de materia prima para los morteros de arcilla.

Se está trabajando en colaboración y, a través de grupos interdisciplinarios, con las instituciones académicas en la experimentación de posibles opciones de aplicación de la arcilla cruda en nuevos productos que puedan incorporarse al mercado de la construcción, en el apartado 3.1 de este mismo capítulo, ya se hace referencia a los avances que existen en este sentido, tanto por el fomento de talleres de especialización como por publicaciones de tesis y trabajos fin de Master.



Foto 3.26 Revoco de arcilla en obra de rehabilitación de vivienda unifamiliar Calaceite, Teruel. Estado previo y posterior a la intervención. *Créditos Ecoclay*



Foto 3.27 Revoco de arcilla con acabado liso en el interior. Vivienda unifamiliar Crivillén - Teruel. *Créditos Ecoclay*

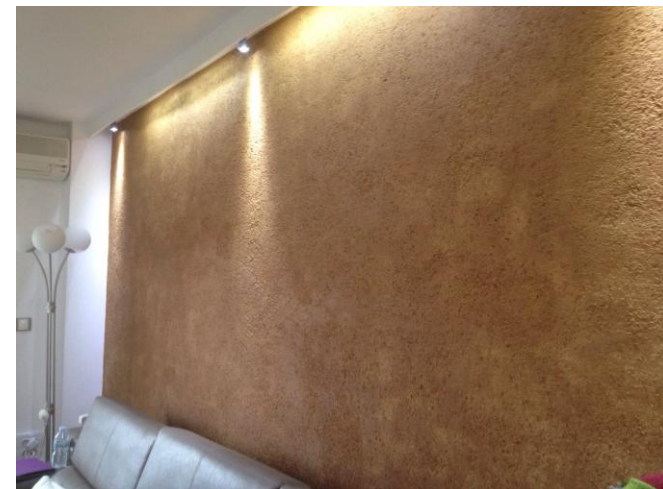


Foto 3.28 Revoco de arcilla con acabado rústico en el interior. Vivienda unifamiliar Montequinto – Sevilla. *Créditos Ana Romero*



Foto 3.29 Salón de Venta Moncalvillo – La Rioja. *Créditos Ecoclay*



Foto 3.30 Salón de Restaurante Mama Campo – Madrid. *Créditos Ecoclay*

En este sentido, dentro del marco socio-económico, se necesita demostrar con base teórica, datos y resultados experimentales la justificación de que la aplicación del producto para revocos de arcilla es rentable y asume garantías suficientes para ser eficiente frente a las prestaciones que se le exigen. En este sentido, el estudio de los productos con contenido de arcilla está intentando ampliar propuestas, y ya se comercializan nuevos elementos y productos como son las placas prefabricadas generadas mediante **arcilla comprimida**, como módulo de revestimiento natural. (Foto 3.31)



Foto 3.31 Placas de arcilla comprimida para tabiques divisorios. *Créditos Ecoclay*

Se considera oportuno recalcar, que para contar con mano de obra especializada y cualificada, existe la necesidad de fomentar procesos de aprendizaje para lograr la formación profesional de aplicadores. Este oficio tiene escasos profesionales preparados para encarar con habilidad y eficacia la aplicación de productos que conllevan ciertas pautas de preparación y empleo y que, como queda demostrado en los objetivos y contenidos del sistema ECVET, se deben activar áreas de fomento del empleo, difundir referencias perfectamente adaptables a nuestro mercado laboral y proponer iniciativas que colaboren con las tareas de aplicación y difusión el conocimiento científico.

3.4.- CONTEXTO NORMATIVO

3.4.1.-Exigencias y regulación, prescripciones técnicas del producto

La falta de rigor en la construcción, sobre todo en la conservación del patrimonio de tierra cruda, ha provocado pérdidas irreparables de objetos patrimoniales. En España, concretamente, no existe una normalización completa que regule adecuadamente este material de construcción; hasta ahora, solo esta publicada la norma sobre bloques de tierra comprimida (BTC)²³, y se mencionan algunas consideraciones prescriptivas en cuanto a configuraciones constructivas de muros en el CTE-DB-F²⁴. En este último caso, las consideraciones del CTE se utilizan, como referencia, sobre todo en ejecución de fábricas y son aplicables de forma general, pero en la práctica se adaptan sin rigor sobre todo cuando se trata de la conservación de fábricas de adobes o tapia.

El control para la regularización de la utilización de la tierra cruda en la construcción continua siendo una asignatura pendiente de completar, no está reglamentado en España. Aún es un libro abierto que hay que escribir, definir y justificar en base, principalmente, a la experiencia de los modelos o casos donde tradicionalmente se aplican. La falta de difusión y conocimiento técnico se está revirtiendo al integrar la esta temática en los planes de estudio del grado de Arquitectura, másteres y cursos de expertos, aunque todavía es un tema que no se aborda en otras áreas complementarias.

Por lo tanto, establecer redes de conocimiento e intercambio de experiencias resulta esencial para comprobar si existen similitudes o diferencias, como base del rigor científico que impulse la comparación oportuna de adecuación a cada ámbito. En la arquitectura actual, desde el proyecto, los sistemas constructivos de tierra cruda se incorporan como propuestas de diseño y como respuesta constructiva fiable e innovadora en el desarrollo del hábitat. A pesar de ello, es necesario establecer prescripciones técnicas generales que sirvan de orientación para la ejecución de obra. Estas disposiciones deben ajustarse a las condiciones particulares, actualizarse según necesidades y medios locales y permitir un avance importante en el campo de la construcción arquitectónica.

²³ Norma UNE 41410: 2008 - Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.

²⁴ Código Técnico de la Edificación que en su Documento Básico de Fábricas incluye a las fábricas de BTC para la especificación de juntas y valor de resistencia de los mampuestos y el DB-AE considera a los adobes para cálculo de pesos.

En el campo de acción profesional dentro de la construcción actual, se han modificado varios criterios de diseño y uso de materiales, ya sea por cuestiones económicas o dentro del análisis crítico y la evaluación de la eficacia de las soluciones constructivas aplicadas en la resolución de la arquitectura de los últimos 20 años. A pesar de ello, se siguen considerando las mismas características que debe tener un material cuando debe adecuarse a cada tipo de uso y grado de exposición. Las exigencias para los materiales usados como revestimientos de la envolvente vertical, se aplican pocas veces diferenciando el exterior o interior del edificio, debiendo justificarse en cumplimiento con la normativa vigente (CTE) la idoneidad técnica para dicha función.

En las últimas décadas ha surgido una reformulación en la aplicación de las técnicas llamadas tradicionales por los trabajos de investigación y nuevas técnicas de ejecución de los sistemas constructivos en tierra, aunque se continúa enfocando su solución en los mismos tipos constructivos: muros monolíticos, mamposterías de adobes o de BTC.

En este sentido, se encuentra un contexto muy acotado e inflexible: las normas que especifican los ensayos y pruebas que deben realizarse en el análisis y caracterización de morteros para revocos o enlucidos prescriben únicamente los morteros de conglomerantes hidráulicos (cemento y cales hidráulicas) y cales aéreas. En concreto, la normativa reguladora para establecer especificaciones de estos tipos de morteros se desarrolla en la Norma UNE-EN 998-1:2010 Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido y en ella no se hace la menor referencia a la posibilidad de emplear morteros de arcilla.

No hay regulación en cuanto a la utilización de aditivos para diferentes productos. En el caso de los morteros de arcilla es importante valorar si permiten controlar la resistencia y la trabajabilidad de la masa, incluso el periodo de fraguado del mortero. Además, controlar la relación entre agua y áridos en la dosificación, o la proporción de estabilizadores adecuados permite conseguir las propiedades que exige la aplicación del producto o las condiciones a las que va ser sometido.

3.4.2. Reglamentaciones vigentes

En cuanto a normativa de referencia, las normas de otros países de Europa (sobre todo en Francia, Alemania y Suiza) son más específicas y autónomas. En su contenido, en general, se describen procedimientos de ensayos propios de técnicas constructivas con tierra, gran parte de la información se refiere a procedimientos de ensayos para elementos de la estructura de la edificación: tapia, adobe o BTC (Cid, 2011).

Las reseñas introductorias a una normalización en España, pueden ser orientativas como norma técnica, sólo de **aplicación** en un determinado contexto, como es la ya referida norma UNE-EN 41410: 2008 para BTC²⁵, o son **analizados en trabajos de investigación**²⁶ recientes que sintetizan las normas en el panorama mundial; aunque al final concluyen que definen caracterizaciones de diferentes tipos de suelos o técnicas y métodos para sistemas constructivos para ejecución de cerramientos. En Italia, reglamentación persigue la valorización y conservación de las edificaciones patrimoniales de zonas regionales concretas (Cid, 2011).

La normativa vigente en España, la actual UNE-EN 998-1:2010 contiene prescripciones específicas para morteros de revocos y enlucidos, y es un avance sobre la anterior en la UNE-EN 998-1:2003²⁷. En esta norma se establecen las características y denominaciones de los morteros para revocos y enlucidos, diferenciándolos de los que específicamente sirven para su uso en albañilería. Además, detalla los requisitos que deben cumplir los morteros hechos en fábrica, es decir, morteros industriales a base de conglomerantes inorgánicos para exteriores (revocos base o enfoscados) e interiores (enlucidos).

En cuanto a normas específicas para revestimientos existen referencias a nivel europeo que poco se diferencien de la normativa española. Destacan las más recientes publicaciones realizadas, en Francia, de la norma que define especificaciones técnicas sobre procedimientos de construcción de morteros para revestimientos, norma francesa AFNOR NF DTU 26.1 P1-2, 2008. Travaux de bâtiment. Travaux d'enduits de mortiers. Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques; en ella se determinan los correspondientes métodos de ensayo para cumplir con los requisitos mínimos de marcado de calidad de los productos utilizados.

²⁵ En el capítulo de antecedente se menciona la única normativa vigente en España sobre bloques de tierra comprimidos, la norma UNE 41410: 2008 - Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo

²⁶ Trabajos de tesis doctorales como la de Carmen Jiménez Delgado sobre "Caracterización de la construcción en tierra: ensayos y normativa" de la Universidad Politécnica de Madrid se publica en el mismo año que es vigente el Código Técnico de la Edificación, 2006. Años más tarde, en el 2012, Jaime Cid Falceto hace su trabajo de investigación sobre "Durabilidad de los bloques de tierra comprimida: Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción" y tiene como director de tesis a Ignacio Cañas, miembro del Comité de Construcción en tierra cruda de AENOR. En 2013, el doctorando Pablo Javier Mosquera de Arancibia presenta la tesis "Medida de la conductividad térmica con el método de la aguja térmica, basado en la fuente lineal de calor transitorio, para su aplicación en cerramientos de adobes y bloques de tierra comprimida" también en la UPM.

²⁷ La actualizada Norma Europea EN 998-1:2010 "Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido" mejora y amplía la versión del año 2003 de la UNE-998-2:2004: "Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería".

Las normas DIN 18952. Hoja 2, de Alemania, se mencionan en todos los trabajos de investigación como referencia para los procesos de preparación de muestras y métodos de ensayos para la selección de suelos, incluye las especificaciones para la preparación de la muestra de suelo más agua, define valores de plasticidad normalizada, ensayos de retracción y resistencia a la compresión. Las antiguas ASTM-D referidas a clasificación de suelos (Guinea, 1986), están superadas por el listado que analiza Horst Schroeder (Schroeder, 2015) de las normas alemanas DIN 18947 sobre morteros de arcilla, DIN 18550-1 sobre morteros de arcilla para uso exterior y DIN 18550-2 : 2014-10 que incluye el análisis de diferentes tipos de morteros de arcilla para aplicación en interiores.

La definición de los morteros, en general, se hace por tipos de componentes o diferenciando las propiedades que deben cumplir en estado fresco²⁸ o endurecido²⁹. Las normas UNE-EN 998-1:2010 de morteros para albañilería definen requisitos que deben cumplir los morteros en cuanto a sus propiedades y características de reacción al fuego y durabilidad. Establecen la designación, marcado y etiquetado que deben cumplir con la evaluación de conformidad frente al control de calidad CE³⁰. Y concretamente, se especifican las características y denominaciones de los morteros para revocos y enlucidos, diferenciándolos de los que específicamente sirven para su uso en albañilería.

Esta norma (UNE-EN 998-1:2010) establece una clasificación de los morteros para revoco/enlucido que se define por diferentes criterios:

- **Según el concepto del mortero:** diferencia al mortero diseñado del prescrito. Dentro del primer grupo se considera al que en su composición y sistema de fabricación se han elegido materiales específicos con el fin de obtener unas determinadas propiedades específicas, es decir, un mortero diseñado para prestaciones concretas. El mortero prescrito se fabrica con varios componentes en proporciones determinadas y establecidas y las propiedades finales del mismo dependen de dichas proporciones, a modo de receta.

²⁸ Para morteros frescos, o sea mortero completamente amasado y listo para su empleo, se definen propiedades que debe cumplir en cuanto al tiempo de utilización, contenido de iones cloruro, contenido en aire y proporción de sus componentes

²⁹ Para morteros endurecidos, o sea, después de curado generalmente a los 28 días, se definen propiedades de resistencia a compresión, adhesión, absorción de agua, permeabilidad al vapor de agua, densidad, conductividad térmica y durabilidad

³⁰ CE: testimonio por parte del fabricante de que su producto cumple con los mínimos requisitos legales y técnicos en materia de seguridad de los Estados miembros de la Unión Europea.

La diversidad de tradiciones regionales en las prácticas de la construcción y de los climas, así como los diferentes componentes disponibles para los morteros para revoco y/o enlucido, no permiten establecer dosificaciones normalizadas para los morteros prescritos, que sean de aplicación para todos los países de Europa. Por esta razón, es conveniente que las especificaciones de estos morteros, sus dosificaciones (recetas) y sus campos de aplicación se basen en la práctica y en la experiencia válida en el lugar de utilización (UNE-EN 998-1:2010).

En la Tabla 3.3, se resumen los conceptos de la clasificación de los morteros según el sistema de fabricación y se diferencian los tipos según designación del mercado y UNE de referencia:

Tabla 3.3

SEGÚN EL SISTEMA DE FABRICACIÓN				
MORTERO HECHO EN FÁBRICA O MORTERO INDUSTRIAL	mortero seco	mezcla preparada y solamente requiere la adición de agua		
	mortero húmedo	se suministra listo para su empleo		
MORTERO SEMITERMINADOS HECHOS EN FÁBRICA	mortero predosificado	se dosifica por completo en fábrica	en la obra solo hay que mezclar los componentes	se le adiciona en la obra un porcentaje determinado de aditivos como pueden ser: cal, yeso, cemento, fibras u otros productos de acuerdo a las prescripciones dadas por el fabricante
	mortero premezclado	se dosifica por completo en fábrica	en la obra se le añade otros componentes especificados (cal / cemento / yeso / aditivos sintéticos...etc.)	
MORTERO HECHO "IN SITU"	se prepara a pie de obra donde se dosifican todos los componentes individuales y son mezclados en el mismo lugar de utilización.			

- **Según la variedad de campos de aplicación y condiciones de exposición de los morteros:** se especifica en la misma norma de referencia, los requerimientos de los productos con diferentes propiedades y niveles de prestaciones. La clasificación, de acuerdo a las propiedades del mortero en estado endurecido, define unas categorías de acuerdo a intervalos de valores de resistencia a la compresión, de valor de absorción de agua por capilaridad y de conductividad térmica, obtenidos a partir de los ensayos que se establecen en UNE-EN 1015-11³¹., UNE-EN 1015-18³² y EN 1745:2002³³ respectivamente. (Ver tabla 3.4)

Tabla 3.4

SEGÚN PROPIEDADES DEL MORTERO: CARACTERÍSTICAS DE UTILIZACIÓN		
TIPO de MORTERO	DESIGNACIÓN	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES
Mortero para uso corriente	GP	sin características especiales, puede ser prescrito o diseñado
Mortero ligero	LW	mortero diseñado, cuya densidad en estado seco y endurecido es inferior a $\leq 300 \text{ kg/m}^3$
Mortero coloreado	CR	mortero especialmente coloreado con pigmentos o utilizando áridos de colores
Mortero monocapa	OC	mortero de una capa (funciona como un sistema multicapa)especialmente coloreado, dosificado con áridos normales o ligeros. Se utiliza en exteriores
Mortero para renovación	R	mortero diseñado utilizado en muros de fábrica húmedos con contenido de sales solubles en agua, tiene elevada porosidad y permeabilidad al vapor de agua y reducida absorción de agua por capilaridad
Mortero para aislamiento térmico	T	diseñado con propiedades específicas de aislamiento térmico

En el caso del producto que se utiliza en este trabajo de investigación, el mortero de arcilla preparado sería un mortero de uso corriente (GP), ligero (LW) y coloreado (CR); pero en este último caso la coloración es natural ya que se usan las arcillas obtenidas directamente de cantera con su tonalidad original, dentro de la gama cromática que comercializa la empresa Ecoclay.

³¹ EN 1015-11^a Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.

³² E 1015-18 N Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido.

³³ Según la EN- 1745:2002 Fábrica de albañilería y componentes para fabrica. Métodos para determinar los valores térmicos de proyecto, el método de ensayo para la obtención de un valor de conductividad térmica es de aplicación solo en los casos de morteros destinados a estar sometidos a requisitos de capa de la envolvente como aislamiento térmicos.

Los morteros para revocos o enlucidos que cumplan con el correspondiente control de calidad garantizado por el fabricante, raramente llevan prescripciones concretas o aconsejables según sea el tipo de soporte sobre el que se deben emplear, ya sea para recubrir muros de piedra, ladrillo cerámico o bloques de mortero de hormigón. Por lo tanto, deja abierta la opción de empleo en cualquier otro tipo de soporte como serían las mampostería de tierra cruda ejecutadas con adobes o BTC.

Obviamente, el diseñador o técnico constructor será el encargado de adoptar, con un correcto criterio técnico avalado por sus conocimientos en la materia, las decisiones que conlleven a la selección del material a usar en el revestimiento. Es decir, justificará la aplicación de un determinado producto teniendo en cuenta sus características, los requisitos que debe cumplir como capa protectora y las necesidades que debe solventar al estar expuesto el muro a determinados factores internos o externos (humedad, temperatura, uso...)

En la misma norma UNE-EN 998-1:2010, se especifica que su texto no contempla morteros que resisten al fuego o morteros acústicos ni los morteros para reparaciones estructurales y tratamientos superficiales de elementos constructivos (morteros de reparación y alisado, pinturas o revestimientos asimilados, revocos o enlucidos inorgánicos de capa fina y unidades prefabricadas como placas de yeso). Aunque en su apartado 5.2.2 sobre los requisitos de los revocos o enlucidos frente a la reacción frente al fuego especifica que los morteros que se utilicen con este fin, que contengan una fracción $\leq 1,0\%$ de materiales orgánicos repartidos homogéneamente, se clasifican en la clase A1 de la reacción al fuego sin necesidad de hacer ensayos. Por lo contrario, los morteros que en su masa contengan $>1,0\%$ de materiales orgánicos distribuidos homogéneamente se deben clasificar de acuerdo a la Norma EN 13501-1³⁴ y declarados en la clase correspondiente.

Los morteros de interior (CS I y CS II) son morteros con menos cohesión, con baja resistencia a los cambios bruscos de temperatura y humedad (cambios ambientales). La masa de los morteros que se usan para exteriores (CS III y CS IV) es más cohesionada y con mayor resistencia a los cambios ambientales. Los valores se referencian en la tabla 4 que facilita AFAM³⁵ en su documentación “Recomendaciones y pliego de condiciones para revestimientos de mortero “(página 11) (AFAM, 2012) Esta tabla se adjunta en la documentación ANEXO de este trabajo de investigación.

³⁴ EN 13501-1 Clasificación ante el fuego de los productos y de los elementos de construcción. Parte 1: Clasificación utilizando los datos de los ensayos a partir de la reacción de los ensayos frente al fuego.

³⁵ AFAM - Asociación de Fabricantes de Morteros está constituida por empresas dedicadas a la producción de morteros secos, especiales y SATE, y también pertenecen a este grupo distribuidores, fabricantes de materias primas o maquinaria, instaladores, instituciones e investigadores como miembros adheridos, consiguiendo que sea la mayor organización sobre morteros en idioma español encargada en publicar las actualizaciones sobre fichas de productos, sistemas de revestimientos, uso y aplicación en la construcción y ámbito normativo a nivel europeo. <http://www.afam.es/>

En cuanto al Reglamento Europeo de Productos de Construcción REPC Reglamento (UE) N° 305/2011 (Deroga la Directiva de Productos de Construcción desde el 1 de julio de 2013) establece el ámbito de obligatoriedad del mercado CE específico para los productos de la construcción y confiere total veracidad a la información que acompaña al producto, avalada por el procedimiento de aplicación de esta misma regulación.

El Mercado CE es obligatorio para definir las prestaciones de los productos cubiertos por normas armonizadas y, según la directiva de Evaluación Técnica Europea (ETE), aquellos productos que no dispongan de este tipo de norma deben establecer la “Declaración de Prestaciones” DP. Se prevé con el nuevo reglamento europeo la especificación técnica para los productos que no disponen de norma armonizada (ENh) en lugar de los DITE (Documento de Idoneidad Técnica Europeo).

Este documento constituirá la referencia para la declaración de prestaciones y el Mercado CE. Su objeto no es definir la seguridad de los productos de construcción, sino garantizar que se presenta información fiable en relación con sus prestaciones y uso y establece de forma voluntaria la “Declaración Ambiental de Productos”.

En definitiva, el mercado CE no se puede considerar un mercado de calidad, sino que simplifica la información que los fabricantes deben gestionar para que su producto sea más competitivo en el mercado y hacer posible que el usuario pueda realizar comparaciones entre productos similares de distinta procedencia.

4 – METODOLOGÍA

4.- METODOLOGÍA

El estudio de la aplicación de la tierra cruda en arquitectura ha generado numerosas aportaciones, en los últimos años, con investigaciones sobre diferentes sistemas constructivos. Se precisa acotar otras cuestiones de estos sistemas, menos desarrolladas, como son los revestimientos y, desde la perspectiva del uso actual, ampliar el conocimiento sobre los morteros de arcilla. El estudio de caracterización, que define el desarrollo de este trabajo de investigación, contempla las características y propiedades principales tanto de la materia prima que se emplea en la elaboración del producto como del propio revoco de arcilla y sus funciones. Las innovaciones que existen en el campo de la protección de la envolvente sumado a la influencia de los revocos de arcilla en las mejoras de las propiedades del soporte en cuanto al ahorro energético, control de la permeabilidad y salubridad de los muros precisan la caracterización del producto sin y con aditivos.

Para llevar a cabo los objetivos planteados, el proceso a seguir consiste en realizar una investigación experimental basada en la comprobación de valores de caracterización del producto y en la aplicación de la normativa existente para morteros de revestimientos mediante diversos ensayos, que posibiliten el conocimiento de las posibles respuestas de los morteros de arcilla preparados que se encuentran en el mercado de la construcción actual. Para todo ello, los capítulos en los que se estructura este trabajo son:

-Revestimientos continuos naturales en arquitectura. Revocos de arcilla

Se establece la necesidad de iniciar el estudio de los componentes de los morteros de arcilla para revestimientos mediante la contextualización de los diferentes tipos de arcillas. La diversidad y potencialidad de esta materia prima en diferentes zonas del territorio español se plasma en un mapa de muestreo que permite constatar si se puede focalizar el desarrollo de esta actividad en el ámbito andaluz y las posibilidades de modificación de su producción buscando la adecuación a las circunstancias actuales de la arquitectura.

Tanto las exigencias funcionales como el diseño del revestimiento y las opciones de suministro, condicionan la elección del tipo de arcilla y el resto de componentes para la elaboración del mortero, que se definirán al conocer su origen. La procedencia de la arcilla, como elemento principal de los morteros para revocos naturales, debe identificarse para establecer el resto de componentes y las dosificaciones adecuadas de cada uno para definir el producto.

La elección del tipo de mortero se basa en requerimientos de funcionalidad y adecuación a la base soporte y al uso en interior o exterior del revestimiento. Por lo tanto, se establecen los componentes básicos del revoco de arcilla y un listado de posibles materiales y/o productos que se pueden añadir para estabilizar la masa o mejorar sus propiedades en relación a la granulometría, plasticidad, nivel de retracción y grado de compactación.

-Revocos de arcilla: producto natural

Los revestimientos en general pueden estar conformados por una o diferentes capas en las que cada una cumple una función específica. Para poder revestir con morteros de arcilla se deben tener en cuenta una serie de pautas, como sucede para cualquier tipo de mortero, según las necesidades funcionales del revoco.

Actualmente, si se decide emplear un revestimiento natural, se deben diferenciar los procesos de preparación in situ de los de producción y fabricación a nivel industrializado. Se establece el estudio de las opciones que brinda el mercado del producto para, finalmente, justificar la elección del producto base del estudio experimental de este trabajo de investigación.

En este capítulo se describen los conceptos básicos generales de las propiedades y funciones del revoco de arcilla y se diferencian los métodos de preparación del soporte base y las técnicas posibles de aplicación. Se establecen opciones de aplicación basadas en esquemas gráficos que reflejan las variantes que se pueden presentar, tanto por la diversidad de superficies a revestir como por las propiedades que tiene cada capa de mortero según la disposición que se haga de la misma.

-Caracterización de revocos de arcillas preparados

Sobre la base del empleo de morteros de arcilla preparados que se comercializan en el mercado nacional de la construcción, se hace una clasificación de empresas que suministran productos de revocos de arcilla en España y Europa. La selección final de los productos a estudiar se justifica con la elección de morteros de arcilla sin aditivos con materia prima extraída de canteras nacionales y distribuidas dentro de nuestro ámbito de edificación.

Se planifican estrategias de estudio para establecer la aplicación de estos revocos como un material más de construcción, para evaluar sus principales características y aplicar criterios que sean útiles como indicadores en el desarrollo del producto. Se definen una serie de pruebas para establecer valores de comprobación de resistencia mecánica, grados de adherencia, efectos de la humedad, grados de erosión y mejoras con la adición de diferentes tipos de cales como aglomerantes naturales de estabilización. Estas acciones se plantean con el objetivo de verificar si son de aplicación las referencias normativas utilizadas y detectar en qué casos se deben hacer las modificaciones y/o particularizaciones apropiadas para la aplicabilidad de este producto de construcción.

-Experimentación

Los ensayos que se diseñan para cumplir con el objetivo de analizar qué especificaciones pueden definirse en este tipo de morteros de arcilla, se definen mediante tres consideraciones: la respuesta del mortero frente al agua, su comportamiento mecánico y de servicio.

Los ensayos de evaluación frente al agua consisten en diversas pruebas de caracterización que permiten establecer parámetros de respuesta de los morteros afectados por la succión de agua capilar, el grado de permeabilidad del producto y la estabilidad dimensional que presenta en el proceso de secado, condiciones relevantes en la aplicación sobre superficies soportes.

El comportamiento mecánico permite la comparación con morteros de otros materiales y es un dato necesario en cualquier producto que se utilice en edificación, es innegable la importancia de esta aportación para contar con la información técnica completa del producto.

Sin embargo, cuando se habla de situaciones de servicio, se eligen las pruebas en base a distintas premisas: conocimiento, ámbito que se quiere cubrir, oportunidad de uso, desarrollo del propio ensayo. Al relacionar unos ensayos con otros se ésta dirigiendo la investigación a la finalidad fijada en los objetivos del trabajo. Por ello, los ensayos de resistencia mecánica deben planificarse en un formato y tiempo apropiado para obtener las muestras suficientes y poder desarrollarlos para obtener los valores de comprobación de resistencia vinculada con la erosión, el desgaste y compatibilidad con el soporte.

Otro aspecto que se establece es investigar el uso de la cal como aditivo. La cal contribuye a la estabilización de la mezcla de los morteros de arcilla y se ha aplicado tradicionalmente como recurso en las técnicas de la construcción en tierra cruda. En este caso, se estudian mezclas con tres tipos de cales diferentes en polvo y pasta con las que, a su vez, se establecen distintas dosificaciones con al menos tres porcentajes diferentes de contenido en todas ellas. Se usan como referencia los valores de proporciones de cal para morteros utilizados tradicionalmente y que han dado resultados positivos en este tipo de material.

Para la programación de los ensayos a realizar se utiliza como referencia la normativa reguladora en España que establece las especificaciones para los morteros de revestimiento, Norma UNE-EN 998-1:2010 Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido junto con otras normas correspondientes a cada tipo de ensayo que derivan de ésta, cuyo detalle se especifica en el capítulo de Experimentación a desarrollar. Los ensayos de laboratorio se realizan en el Laboratorio del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura (en adelante E.T.S.A.) de la Universidad de Sevilla.

Además de los ensayos que se desarrollan en el ámbito del laboratorio, se plantea una prueba de desgaste al exterior, como método de comprobación de la resistencia de las probetas de diferentes dosificaciones. A partir de los resultados que se obtengan tanto en las pruebas mecánicas como en las de resistencia al desgaste, se seleccionarán las dosificaciones que cuya respuesta sea más favorable. Las dosificaciones seleccionadas como más adecuadas se reutilizarán para realizar la aplicación de muestras en varios tipos de soportes para concretar los ensayos de adherencia. Se realizaran aplicaciones de morteros directamente sobre soportes de diferentes materiales y características; estas acciones se plantean con el objetivo de verificar si son aplicables las exigencias normativas vigentes a los morteros de arcilla preparados y en qué casos se deben hacer las modificaciones y/o particularizaciones apropiadas para la aplicabilidad de este producto de construcción.

-Análisis y evaluación de resultados

El análisis de los resultados obtenidos con cada uno de los ensayos y pruebas, que se realizan en la fase de experimentación, se centran en diferenciar los aspectos de carácter general de las particularidades destacables que reflejan los valores obtenidos.

Se analizan las fases previas de planificación y preparación de las muestras de los morteros utilizados, el diseño y elaboración de las probetas y cuestionan los procedimientos de formalización y resultados de cada ensayo que se consideren destacables para el conocimiento de los diferentes tipos de morteros de arcilla sin aditivos y de las dosificaciones con aditivos.

La comparación o verificación de los valores resultantes con los de referencia, permiten evaluar el proceso que se ha seguido en esta investigación y generar conclusiones que dejen señalados aspectos relevantes y parámetros que deben ser considerados para el desarrollo del estudio y aplicación de estos productos.

-Transferencia de resultados y vías futuras de investigación

De los resultados obtenidos se verificará si las perspectivas iniciales se ven cumplidas o algunos aspectos de la caracterización del producto necesitan estudios más completos o complementarios a los realizados. Se pretende establecer una serie de cuestiones que permitan el desarrollo de los aspectos que necesitan ampliación de conocimiento y otras más específicas de acuerdo a los resultados o conclusiones que se definan.

**5 – REVESTIMIENTOS CONTINUOS NATURALES EN ARQUITECTURA.
REVOCOS DE ARCILLA**

5.1.- PROCEDENCIA DE LA MATERIA PRIMA

La definición de revestimiento continuo natural, se refiere a los acabados superficiales cuyos componentes son materiales provenientes directamente de la naturaleza, sin modificación química ni aditivos artificiales. En el caso concreto de la arcilla para revocos, la materia prima debe ser del tipo adecuado ya que define las características del producto.

El campo de aplicación de la arcilla como materia prima de productos para la construcción es lo suficientemente diverso y amplio como para que haya sido necesaria la acotación geográfica. Para ilustrar esta complejidad y, como estudio previo realizado en la definición de contextos, en este apartado se analizan, de manera puramente descriptiva, dónde se sitúan los centros de explotación del material en España y las opciones de aplicación posible para productos de revestimientos continuos naturales.

Las canteras de tierra arcillosa destinada a la explotación de materiales para la construcción tienen una ubicación muy concreta en España. Para la contextualización de los diferentes tipos de arcillas que se emplean en la construcción, se establece un mapa de muestreo que permite definir la diversidad y potencialidad de las materias primas que actualmente se utilizan para la fabricación de productos industrializados, principalmente cerámicos. Las arcillas, que mediante procesos de cocción permiten la fabricación de elementos constructivos, tienen la posibilidad de ser empleadas como productos naturales para revestimientos.

Existen diversas arcillas con diferentes características y no todas son adecuadas para determinados productos. Las características que prevalecen para la selección de la materia prima son la capacidad que presente el material a la contracción (efecto que provoca fisuras durante el proceso de secado), la fuerza aglutinante, donde influye la mineralogía del material (las arcillas montmorillonitas muestran un efecto adhesivo, absorbente con facilidad de retracción, y las caolinitas e illitas, al contrario, aglutinan menos y presentan bajas retracciones al secar) y la resistencia mecánica y física que muestren a la abrasión o erosión (Minke, 2014); por todo ello, es importante conocer la mineralogía de los preparados que se van a estudiar.

Una fuente interesante de información consiste en localizar las canteras importantes que suministran material a las ladrilleras que siguen activas, ya que donde se fabrican ladrillos hay afloramientos de arcillas. La mayoría de las canteras que actualmente se explotan en España, son productoras de materias primas de arcilla roja o blanca o “ball clays¹” destinadas a la industria cerámica.

Para hacer una aproximación, en el periodo entre los años 1995 y 2000, el número de edificaciones, sobre todo viviendas, creció superando más del 50% de la demanda interna de material cerámico, según estimaciones del sector de la construcción. Esta situación provocó problemas de suministro en el sector de las ladrilleras en diferentes puntos del país y hubo que recurrir a la importación de materia prima extranjera (Criado, 2004). Aunque debido a la crisis de los últimos años haya sido necesario disminuir la cartera de clientes de su materia prima, hay lugares que permanecen en funcionamiento a pesar del descenso considerable de la producción de productos cerámicos para la construcción, como ha ocurrido significativamente en la provincia de Castellón.

Desde los diferentes sectores que intervienen en el desarrollo de la industria cerámica, se busca seleccionar empresas que destinen parte de su producción al desarrollo e innovación de productos naturales a partir de la explotación de su materia prima y su aplicación en el mercado de la construcción. Actualmente, son muy pocas las empresas mineras que dedican parte de la explotación de arcillas, como materia prima, para materiales de construcción ecológicos, es decir, sin más tratamiento industrial que la selección y dosificación adecuada de los componentes para uso como mortero.

En la tabla 5.1 , se diferencian los tipos de arcillas que se usan específicamente en la industria cerámica y para la construcción, ya que la naturaleza de los minerales de la arcilla y las proporciones relativas de sus componentes condicionan su respuesta durante el proceso de fabricación de productos cerámicos (Sanfeliu, 2001). Según la composición de la materia prima que se emplea se pueden distinguir, además, tres grandes grupos de arcillas con determinadas propiedades físicas y usos: el caolín, las arcillas blancas tras la cocción y las arcillas rojas.

¹ Ball clay: termino ingles según clasificación tradicional proveniente del Reino Unido. Este tipo de arcillas se vuelven blancas tras el proceso de cocción.

Tabla 5.1

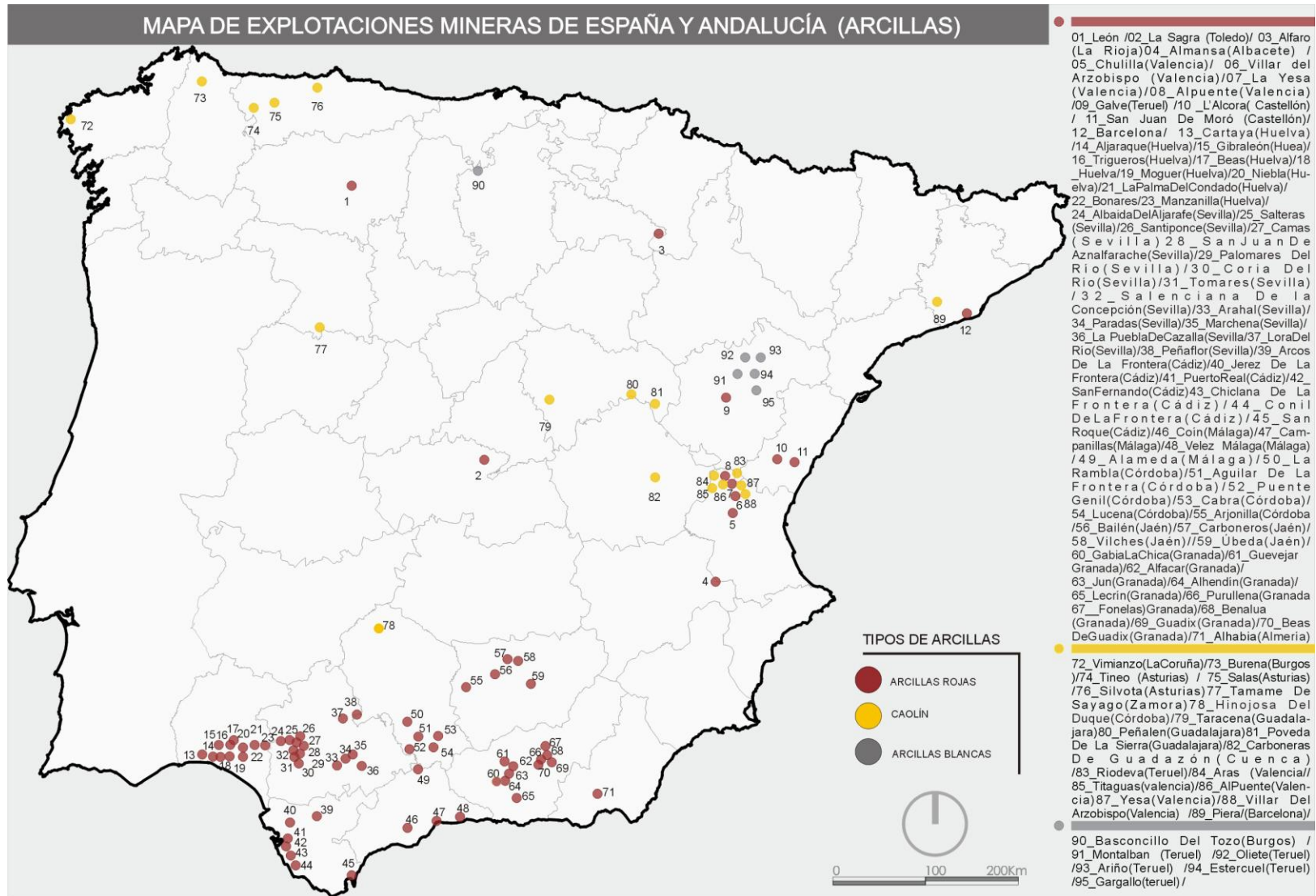
CLASIFICACION DE TIPOS DE ARCILLAS Y DESCRIPCION DE CARACTERISTICAS GENERALES				
materia prima	designación	componentes minerales	características generales	usos
caolín	<i>"china-clays"</i>	caolinita	-color blanco o crema tras la cocción -ausencia de toxicidad -inercia ante productos químicos -arcillas refractarias	-revestimientos y pavimentos cerámicos -porcelana sanitaria -porcelana de mesa y lozas -esmaltes cerámicos
arcillas de color blanco tras la cocción	<i>arcilla plástica "ball clays"</i>	caolinita, illita, montmorillonita, cuarzo, mica, y en menos proporción: óxido de hierro, pirita o yeso	-altamente plásticas -granos muy finos dispersables en agua -en estado natural pueden ser de diferentes colores -se necesita homogeneizar dosificaciones destinadas a los productos dado el amplio rango de composición mineral	-revestimientos y pavimentos cerámicos -ladrillos de alta calidad -porcelana sanitaria -porcelana de mesa y lozas
	<i>arcillas refractarias "fire clays"</i>	caolinita, montmorillonita, bajo contenido de sílex, óxidos e hidróxidos de hierro, magnesio y álcalis	-arcillas refractarias, soportan >1500°C -estructura cristalina con poca plasticidad -molidas pueden mejorar su plasticidad	-material refractario -material resistente a ácidos -fabricación de cementos -producción de chamota ²
	<i>caolines pétreos "flint clays"</i>	caolinita bajo contenido de óxidos e hidróxidos de hierro y álcalis	-alto grado de cristalinidad -partículas muy pequeñas -dureza destacable -como chamota mejora la textura, reduce la contracción y evita defectos como agrietado y laminación durante la cocción.	
arcillas de color rojo tras la cocción	<i>refractarias</i>	caolinita	-comportamiento muy variable -se clasifican según su contenido de carbonato (nulo, medio y alto)	- revestimientos y pavimentos cerámicos -tejas, ladrillos cerámicos
	<i>fundentes</i>			

Elaboración propia. Fuentes: Criado, 2004; Junta de Andalucía, 1986; PORMIAN, 2013; Sanfeliu, 2001; SME, 2006

A partir de esta clasificación de arcillas (caolín, blancas y rojas) se elabora la Figura 5.1. Como puede observarse, los principales yacimientos explotables de caolín para materiales cerámicos se localizan en la Cordillera Ibérica, en su sector central (Sur de Teruel, Vilel, Riodeva; Cuenca-Guadalajara, Talayuelas, Santa Cruz de Moya, Carbonera, Reillo, Peñalén o Pobeda de la Sierra) y oriental (N de Valencia, Villar del Arzobispo, Higuieruelas y Sur de Castellón, Onda, Fanzara, Altura) (Galán y Espinosa de los Monteros 1974 según Sanfeliu T, Cepriá JJ, 2001).

² Chamota: material granular obtenido de la pulverización de los ladrillos, piedras refractarias u otro producto cerámico cocido, lo que permite no contraerse en la mezcla con la pasta ya que en la cocción previa ha eliminado el agua de composición. Tiene un alto porcentaje de sílice y alúmina, también se puede hacer a partir de arcillas refractarias. En arqueología se denomina así también a la cerámica desmenuzada que se encuentra en las excavaciones.

Figura 5.1



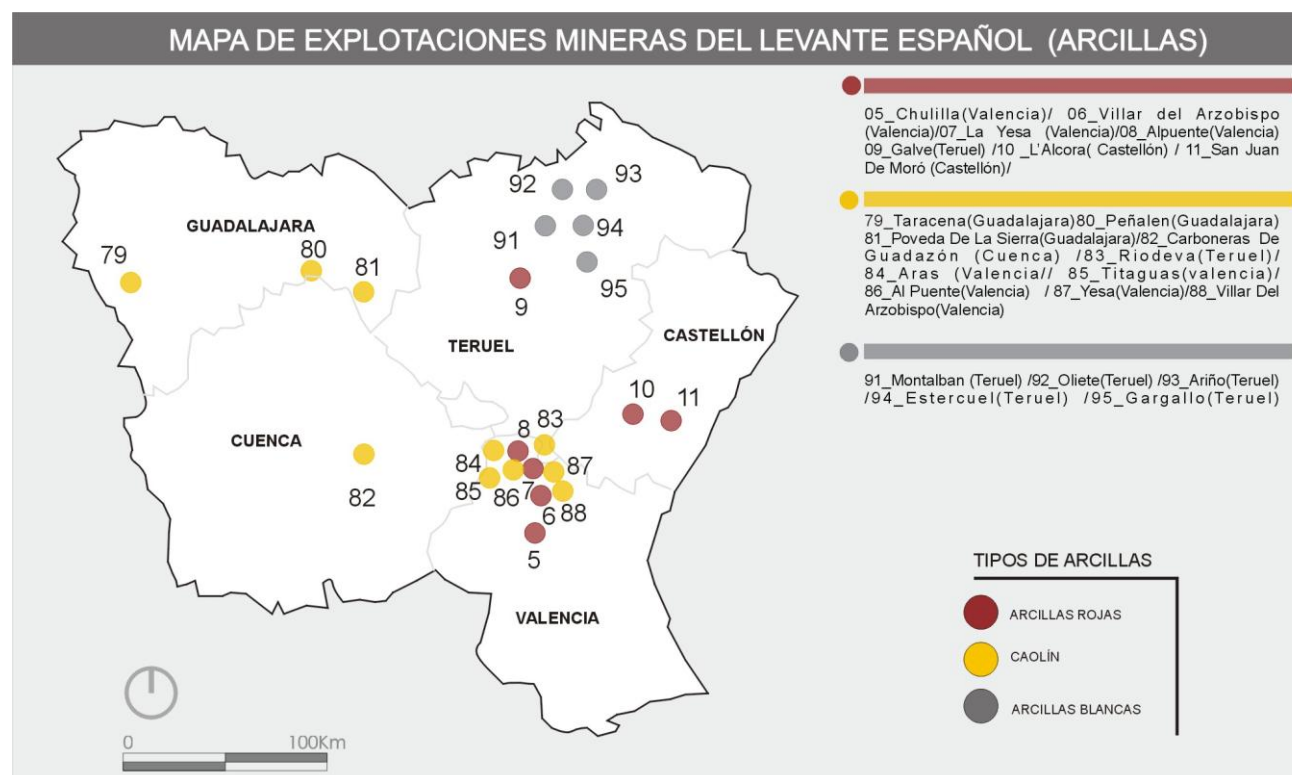
Elaboración propia

Un 67% de las arcillas blancas se obtienen de canteras nacionales, aunque cierta cantidad se importa de otros países de Europa como Gran Bretaña, Alemania, Francia y Ucrania (Criado, 2004). Las arcillas tipo “ball clay” españolas, que destacan en el mercado de la cerámica, son las procedentes del norte de Teruel, principalmente y en concreto de las zonas de Cañada de Verich, Estercuel-Crivillén y Ariño-Oliete; son menos utilizadas en el sector de pavimentos y revestimiento las de Asturias y Galicia por ser más arenosas con contenido variable de óxido de hierro y elevado en materia orgánica.

La situación geográfica de las canteras de los diferentes tipos de arcilla que se explotan en España permite establecer un análisis general de las zonas acotadas de producción y los tipos de productos para la construcción que se fabrican en ellas.

En la Figura 5.2, se hace una ampliación, más en detalle, de lo reflejado en el mapa de España en general; se señalan y referencian las zonas que actualmente están productivas en las comunidades de Castilla la Mancha, Aragón y Valenciana.

Figura 5.2



Elaboración propia

La definición de las localizaciones de las explotaciones de canteras activas de arcillas que destacan a nivel nacional (www.igme.es, 2012), según el tipo de arcilla que produce, sobre todo las de caolín y blancas, muestra la concentración compacta que se produce en la zona este del territorio nacional. Con respecto a las arcillas rojas, la expansión de las áreas explotables es prolija por lo que se señalan sólo las principales de lo contrario sería necesario hacer un estudio mucho más exhaustivo para reflejar la realidad en su verdadera magnitud.

En cuanto a las empresas que explotan estas canteras, Euroarce³ como uno de los principales grupos de Europa formado por una serie de empresas que constituyen la división de materias primas cerámicas del Grupo Samca⁴. Dentro de este consorcio empresarial Aragón Minero S.A. es el mayor productor español de arcillas de cocción blancas. Las explotaciones de arcillas caoliníticas de esta sociedad están en Teruel (Ariño, Oliete y Gargallo) y en Burgos (Basconcillos del Trozo). Le sigue en orden de importancia Minera Sabater⁵, la segunda mina de mayor explotación de arcilla de España, que posee cuatro centros de explotación en funcionamiento en la provincia de Teruel, distribuidos entre Estercuel, Armillas, Crivillén y Castellote que garantizan el suministro directo de materia prima (SME- Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2006). Como tercera empresa esta Portomé, del grupo Porcelanosa, que produce grandes cantidades de arcillas refractarias. Otros grupos pequeños que también tienen canteras en Teruel son Arcimusa, Miresa y Minera Capilla (www.igme.es, 2012).

A partir de la clasificación que permite diferenciar entre las arcillas blancas⁶ (de alta calidad después de la cocción) de las arcillas rojas con la que se fabrican la mayoría de los productos cerámicos (ladrillos, bovedillas, etc.), se considera el listado de la publicación del Plan de Ordenación de los recursos minerales de Andalucía 2010-2013 (PORMIAN) y el Libro blanco de la minería andaluza (Junta de Andalucía, 1986). Con esta información se representan, en puntos concretos definidos por la propia geología, las zonas productivas en Andalucía con el objeto de señalar la información dispersa que se tiene (Figura 5.3).

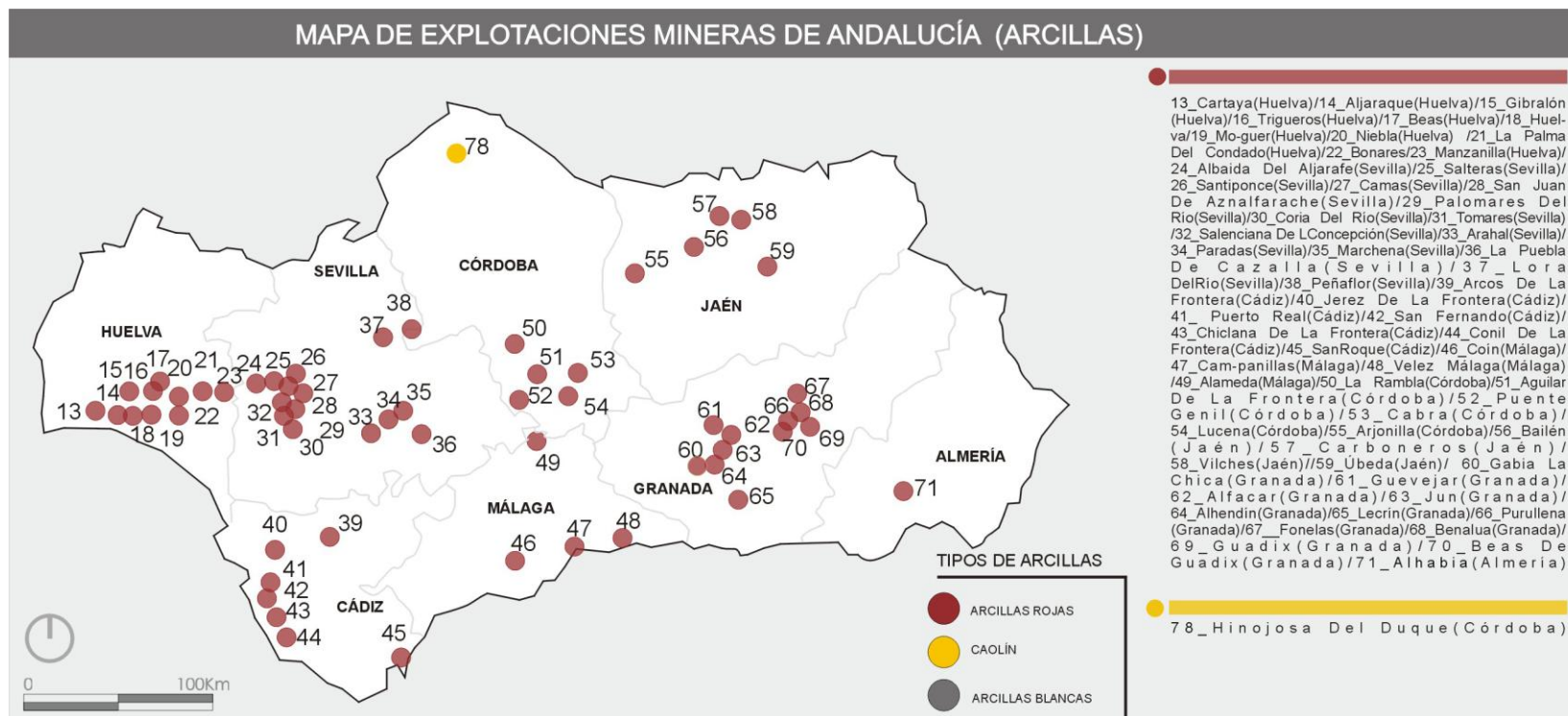
³ Euroarce -Compañía Europea de Arcillas- nace en 1989, dentro de un proceso global de diversificación industrial del grupo SAMCA, con el objetivo de estudiar las posibilidades de las arcillas de Teruel en la industria cerámica, y más concretamente, en el sector del azulejo de Castellón; dispone de más de 15 yacimientos situados en distintos puntos de España, de los que se extraen materias primas útiles para todas las aplicaciones cerámicas. <http://www.euroarce.com>

⁴ El Grupo SAMCA es una compañía familiar radicada en Aragón cuyas actividades se centran en los sectores de la minería, agricultura, energía, plásticos, fibras sintéticas y promoción inmobiliaria. Dispone de instalaciones repartidas por el territorio español, además de otros países como Francia, Italia o Portugal. <http://www.samca.com>

⁵ Desde 1970 la empresa familiar Minera Sabater se dedica a la extracción, tratamiento y comercialización de arcillas blancas, con destino fundamentalmente a la industria cerámica. Su trayectoria se desarrolla en paralelo a la evolución y crecimiento de la pasta blanca en España siendo el principal referente de las denominadas "arcillas de Teruel". Dispone de 4 explotaciones en funcionamiento en la Mina Irene y Venato localizada entre Utrillas y Estercuel, la Mina Las Cañadas en Montalbán y Armillas, Mina Consolación en Crivillén y la Mina San Antonio-Santolea en Castellote. <http://www.minerasabater.es>

⁶ Independientemente de su color natural, las arcillas son blancas tras la cocción (ball clay), de composición caolinítico-illíticas, altamente plásticas y fácilmente dispersables en agua. Minas Sabater: <http://www.minerasabater.es>

Figura 5.3



Elaboración propia

Especialmente en Andalucía, el desarrollo de zonas de explotación de arcillas destinadas a otros fines en la construcción, presenta potenciales opciones de apertura de mercados en la edificación más sostenible y ecológica. Estas zonas representan oportunidades de aprovechamiento material que permiten abrir futuras líneas de investigación con el estudio de productos que utilicen materias primas no tóxicas y se pueden aplicar para mejorar la salubridad de la edificación, mediante la colaboración multidisciplinar. Se trata de proponer la generación de acciones innovadoras en el empleo de estos productos, con estrategias similares a las ya realizadas en otros países e impulsar el cambio hacia nuevas fuentes de explotación y desarrollo del empleo para la fabricación y utilización de productos naturales.

En definitiva, la importancia de destacar los criterios de localización de las aéreas productoras de materia prima, recae en que los productos de arcilla para la construcción y la cercanía de su obtención se relacionan directamente con los criterios de análisis del ciclo de vida del material y del sistema constructivo donde se utiliza.

En este sentido, y con la intención de trabajar con productos naturales de extracción y producción nacional, se seleccionan los morteros de arcilla preparados de la empresa Ecoclay que extrae, trata y comercializa arcillas de canteras de la provincia de Teruel. La zona de explotación de la empresa corresponde a la mencionada Estercuel - Crivillén (Foto 5.1). donde las arcillas son muy silíceas, con un contenido de cuarzo entorno al 40 o 50% y muy bajo en compuestos de hierro y materia orgánica. La fracción arcillosa es de carácter illítico-caolinítico poco degradada, que le confiere una baja plasticidad (Barrachina, 2011)



Foto 5.1 : Vista general de una de las canteras de explotación de arcillas - Teruel

La empresa de productos de arcillas naturales Ecoclay, nace en el año 2011, con el objetivo de ofrecer productos naturales de morteros de arcilla en el mercado de distribución, en una clara apuesta por la innovación en el uso de materiales naturales y la aplicabilidad de los beneficios de la arcilla sin cocción en la elaboración de nuevos productos orientados a la defensa de la construcción saludable y las cualidades técnicas y estéticas que ofrece. Las características de las arcillas que se obtienen de cantera, con estratos sedimentarios de minerales concretos y variados colores naturales, permite a la empresa definir objetivos amplios mediante el estudio de las diferentes opciones de aplicabilidad que tienen su material y productos.

Esta capacidad operativa permite que los productos Ecoclay sean únicos en España con materia prima nacional que procede de canteras locales (Foto 5.2). Mediante la dosificación adecuada o combinaciones de diferentes arcillas desarrolla diferentes opciones entre las que se encuentran los morteros para revestimientos, placas prefabricadas de arcilla para cerramientos y particiones interiores y pinturas de arcilla. Para ello invierten y apuestan por la firma de convenios con grupos de investigadores y desarrollan la producción de morteros de arcillas preparados que se compatibiliza con pinturas de arcilla consiguiendo una variada gama cromática y prestaciones en todos sus productos.



Foto 5.2 : Vista de corte de cantera y acopio de arcillas naturales de diferentes colores a pie de cantera – Teruel

5.2.- COMPONENTES DE LOS MORTEROS DE ARCILLA PARA REVOCO

Los denominados morteros de tierra cruda o de barro, en realidad, son morteros de arcilla ya que, como queda demostrado en el apartado anterior, el componente principal de la mezcla es un determinado tipo de arcilla que junto con la arena y una determinada dosificación de agua integran el mortero.

La arcilla es un tipo de suelo producto de la erosión del feldespato y otros minerales. El feldespato contiene óxido de aluminio, un segundo óxido metálico y sílice (Figura 5.4). Los minerales arcillosos se encuentran, además, mezclados con otros componentes químicos, particularmente con óxido de hierro hidratado y otros compuestos de hierro que proporcionan un color característico según su mineralogía. Estos minerales son los condicionantes de la respuesta del mortero en estado fresco y las variaciones que se producen durante el proceso de secado según sea la dosificación de agua o las oscilaciones de contenido de humedad ya que provocan movimientos de retracción y expansión en la masa.

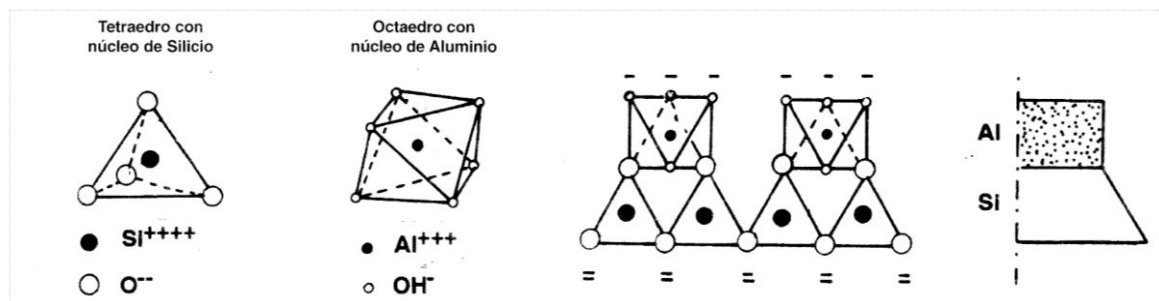


Figura 5.4 Estructura laminar de los minerales de arcilla (según Houben y Guillaud-1989 – Fuente Minke,2001)

Los minerales arcillosos tienen usualmente una estructura laminar hexagonal y cristalina. Estas láminas están constituidas por diferentes capas que se forman alrededor de un núcleo de silicio o aluminio. Las capas de óxido de silicio tienen la carga negativa más fuerte lo que otorga una alta cohesividad interlaminar. La caolinita está constituida por dos láminas y posee capacidad aglutinante baja debido a que cada capa de hidróxido de aluminio está conectada a una capa de óxido de silicio. El mineral montmorilonita, que está constituido por tres capas, tiene una de hidróxido de aluminio siempre entre dos capas de óxido de silicio, lo que le da una capacidad aglutinante alta (Figura 5.5).

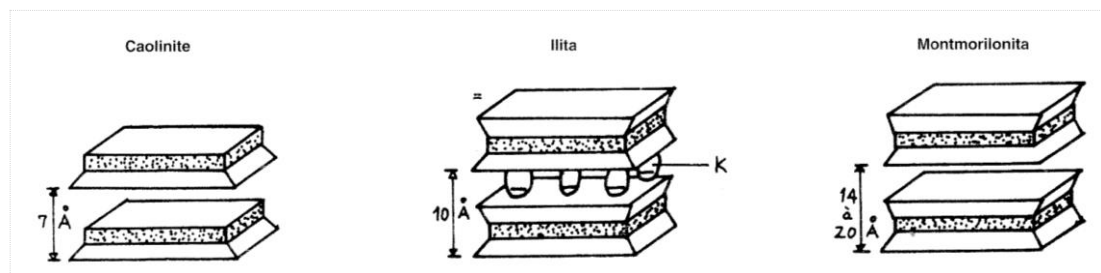


Figura 5.5 Estructura de los tres minerales más comunes de arcillas. Referencia a su distancia interlaminar (según Houben y Guillaud-1989 – Fuente Minke,2001)

Estos comportamientos, que dependen de escalas moleculares más que del análisis macroscópico, son relevantes por estar relacionados con conceptos importantes en el comportamiento de este material que tienen que ver con su estructura mineral, el tipo de superficie de las partículas, las cargas superficiales, cationes intercambiables y el tamaño de las partículas que lo constituyen (Bauzá, 2014).

La capacidad aglutinante y la resistencia a la compresión de las arcillas, como cualquier tierra o suelo, está definida en parte por la composición granulométrica de partículas pequeñas cuyo tamaño es inferior a dos micras. La estructura laminar de las arcilla está directamente relacionada con su grado de compactación por apisonado lo que puede determinar, además, si el suelo presenta menor o mayor porosidad por su capacidad de absorber cargas de compresión, caracterizando así al material por su permeabilidad y resistencia mecánica (Neves, 2009).

El reconocimiento de la arcilla para mortero de revoco debe ser mediante ensayos de laboratorio con el objeto de conocer las características mineralógicas del suelo. Los criterios para seleccionar un tipo de arcilla determinado deben considerar la relación entre la granulometría, plasticidad, nivel de retracción y grado de compactación que permite la elaboración de un determinado tipo de mortero.

Por lo tanto, para determinar la tierra más adecuada a emplearse en la composición de un mortero de arcilla es necesario diferenciar claramente la posibilidad de aprovisionamiento de la materia prima, ya que el material puede tener un origen diferente según su procedencia. Tanto los requerimientos del soporte como el diseño de la obra y las opciones de suministro, condicionan la elección de la arcilla y las posibles mezclas para la elaboración del mortero, cuyos componentes se definirán al conocer su origen. El estudio mineralógico de las arcillas puede resultar complejo y costoso, al tratarse de mezclas de distintos minerales, preexistentes en materia prima originaria de cantera u obtenida por transformación de las mismas (Figols, 2006)

Uno de los argumentos más sostenibles reflejados en la arquitectura tradicional, que se suma a las características específicas del tipo de suelo que se emplea en los revestimientos, es que proceda, preferiblemente, de un entorno cercano; que el suministro se obtenga de excavaciones por movimientos de terreno, pequeñas canteras o explotaciones geológicas de regiones cercanas, para así conseguir un código estético de integración con el contexto ambiental y ayuden a preservar las características paisajísticas y culturales del emplazamiento de la edificación.

Para poder controlar las características de los componentes del mortero, su dosificación y calidad final es conveniente verificar y programar la disponibilidad de materia prima suficiente y necesaria para todos los trabajos donde se vaya a utilizar el revestimiento. Cuando se hace referencia a la materia prima se entiende que, para la dosificación, es imprescindible contar con los porcentajes adecuados de tierra arcillosa, arena y, si fuera necesario, los aditivos específicos que se incorporen, como cal, fibras, productos plastificantes y/o fijadores que se le incorporen a la masa, de acuerdo a la dosificación que debe estar controlada previa a la aplicación del revoco. Este último aspecto es fundamental para reconocer las variaciones que podrían modificar las dosificaciones previstas en las muestras.

El criterio que se deba emplear para la dosificación de los morteros estará condicionado por algunas de las siguientes situaciones:

- Que el o los materiales del soporte y los componentes del mortero sean compatibles e incluso similares. Se puede caracterizar el revoco de arcilla con muestras recogidas del propio paramento. La referencia de materiales que se hayan utilizado en intervenciones anteriores o de un entorno cercano pueden justificar su selección y, por lo tanto, los ensayos previos se focalizarían en la verificación.
- En el caso de que la compatibilidad entre los materiales del soporte y los del mortero no se hayan comprobado previamente serán necesarios ensayos de composición o pruebas de campo.

Los morteros de arcilla pueden dosificarse en base a varios parámetros en los que influye si los morteros son preparados in situ o se trata de un producto predosificado en fábrica. En general, se recomienda para los morteros preparados para una obra específica realizar pruebas previas a la ejecución de las obras. Las muestras se realizarán según diferentes dosificaciones que permitan comparar los resultados de los revocos desde un punto de vista estético y estructural (FFB, 2012).

Cuando la predosificación permite contar con un producto determinado, preparado desde su proceso de fabricación con métodos industrializados, los componentes son los mismos de los otros morteros de arcilla, pero en la dosificación existe una garantía de calidad: proporción de arcillas naturales estrictamente seleccionadas de canteras, arena con granulometría controlada, empaquetado en estado seco y en polvo, para ser comercializado y transportado a obra directamente en formato de bolsas de 25 kg.

Puesto que existen empresas especializadas que crean un catálogo de composiciones determinadas que consideran adecuadas y utilizan siempre los mismos componentes (arenas, cales y tierras) con las mismas dosificaciones (FFB, 2012), solo se debe hacer pruebas de aplicación previa para ver el resultado de adherencia sobre el soporte; en los últimos años, se han creado empresas, como el ejemplo dado de Ecoclay, que debido a las experiencias acumuladas en otras áreas de la construcción, les ha permitido defender sus productos, desarrollarlos y comenzar a comercializar morteros de arcilla ya preparados y envasados. Ahora surge la oportunidad de comprobar la eficacia de estos productos.

En la Tabla 5.2 se resumen los componentes y principales características a tener en cuenta en la definición de los morteros de arcilla para su utilización como revoco.

Tabla 5.2

COMPONENTES BÁSICOS de los MORTEROS DE ARCILLA				
PRODUCTOS		arena	tierra	agua
TIPO		limpia, controlada y seleccionada	Arcillosa - con caolinita, illita, cuarzo, óxidos de hierro, etc.-	Limpia, potable
PROCEDENCIA		De río o cantera (calcárea o silícea)	Cantera	Red de abastecimiento
			entorno inmediato a la obra (cimientos, movimientos de suelos)	
			demoliciones	
			suelo arcilloso almacenado	
			arcilla predosificada envasada	
DOSIFICACIÓN		depende de base soporte pero de media 1:3 a 1:6		24 – 34 %
CONSISTENCIA		blanda a plástica		
COMPONENTES DE CAPA DE REVOCO SEGÚN SU APLICACIÓN	base	> 10 < 50 mm	granulometría > 0,6 mm < 4 mm o gravilla entre 4 – 8 mm	granulometría de áridos no puede ser mayor que la mitad del espesor de cada capa de revoco
	revoco	> 2 < 8 mm	granulometría < 2 μ > μ	
	enlucido	> 0.5 < 2 mm	granulometría > 2 μ < 0,8 mm	

El mortero de arcilla, donde el único aglutinante es la arcilla, es un material que por sus características es muy vulnerable a la acción del agua o la humedad, aun en estado endurecido. Cuando se le adiciona un conglomerante como aditivo (cal, cemento u otro tipo de producto) se denominan morteros estabilizados (Minke, 2014). En la composición del mortero debe controlarse la dosificación de aditivos, según sean cal (aérea o hidráulica), cemento u otras sustancias o partículas que se incorporen para mejorar alguna de sus propiedades o prestaciones como revoco.

El propósito que se persigue con la adición de algún componente es conseguir la mejora de alguna propiedad en el producto como puede ser: mayor plasticidad, permeabilidad al vapor de agua, resistencia frente a la humedad o limitar las posibles lesiones por retracción y mejora de la adherencia al soporte. Cuando el mortero de arcilla contiene aditivos, sobre todo cal, conviene no obstante indicar, que, según la meteorología durante el proceso de endurecimiento del revoco, la apariencia cromática final podrá variar.

5.3.- OTROS COMPONENTES O ADITIVOS

El estudio de los morteros de arcilla con aditivos que permitan su estabilización⁷ se ha desarrollado en escasos trabajos. Los suelos con arcillas caoliníticas responden mejor a la combinación con cales que los suelos con illita. No existen antecedentes de estudios sobre la influencia de la graduación del suelo en las mezclas de suelo-cal, aunque los suelos arcillosos se benefician con la adición de cal mejor que los suelos arenosos (Mateos, 2013).

La cal fue el conglomerante único más usado para morteros y hormigones antes que se descubriera las amplias aplicaciones del cemento como resultado de la trituración de las cenizas volcánicas, en el segundo tercio del siglo XIX patentado por Aspdin, en 1824. Tanto la cal aérea como el yeso (natural) son materiales utilizados tradicionalmente en la arquitectura popular. Ambos, combinados con las arcillas o por separado, aportan propiedades a los revocos que ayudan a sus características físico-químicas y mecánicas. En líneas generales estos materiales naturales (arcilla, cal y yeso) aportan muy buena plasticidad y ello ayuda a las cualidades de la mezcla para su aplicación, además de garantizar buena regulación de la evaporación de vapor de agua en el muro por ser transpirables.

En los suelos arcillosos que contienen cal, se produce una modificación en las propiedades físicas características de su comportamiento inicial que en general se pueden resumir una reducción de la humedad natural del suelo, modifica su granulometría y aumenta su permeabilidad. Aunque depende del tipo de cal, está constatado que presenta mayor plasticidad en la masa, mejora la retracción inicial a pesar de un aumento inmediato de la consistencia y mayor resistencia a medio y largo plazo (Bauzá, 2014)

⁷ Aditivos: componentes que aportan mayores propiedades a las características esenciales del mortero, sobre todo la “estabilización” de la masa del revoco de arcilla para ser trabajada y aplicada, y la mejora y control de su resistencia frente a la durabilidad y adherencia.

Todos estos efectos, verificados en el estudio de la reacción de los suelos arcillosos estabilizados con cal para aplicaciones en obra civil, son los que se establecen como pautas de comprobación y verificación, en este trabajo de investigación, para los morteros de arcilla con aditivos. Por otra parte, es importante recalcar que una arena rica en finos permite conseguir una mejor trabajabilidad de la mezcla de un mortero. Las arenas normalizadas de río que se encuentran en el mercado suelen ser menos limpias y de grano mayor y esto las hace menos compatibles con las arcillas del mortero; por eso para corregir este inconveniente, es posible utilizar arenas terrosas o bien enriquecer la granulometría de los revocos mediante mezclas de arenas más finas.

Para hacer un resumen esquematizado de los tipos de cales que se utilizan para estabilizar morteros de arcilla, según designación de la UNE-EN 459-1:2011⁸, se define, en la Tabla 5.3, la relación que existe entre el comportamiento de las arcillas con el aditivo y la influencia sobre la mejora o deterioro de sus propiedades para utilizar este tipo de dosificaciones en el revoco.

Tabla 5.3

PROPIEDADES de MORTEROS de ARCILLA con ADITIVO de CAL								
TIPO DE	En polvo				En pasta			
	Cal aérea				HL hidráulica natural			CL en pasta
	CL calcítica hidratada			DL dolomítica				
	CL90	CL80	CL70	DL	NHL 2	NHL 3.5	NHL 5	SPL 90
PROPIEDADES	menos densidad			densidad media	densidad media			menos densidad
	buena plasticidad			mayor plasticidad	menor plasticidad			mayor plasticidad
	menor retracción			mayor retracción	mayor retracción			menor retracción
	buena permeabilidad				mayor permeabilidad			
	baja rigidez				mayor rigidez			
	mayor resistencia			mayor resistencia	resistencia media			mayor resistencia

Como se aprecia, la adición de cal a las arcillas modifica su comportamiento ya que influye no solo en la textura y trabajabilidad del suelo arcilloso y su resistencia, sino que los diferentes tipos de cales con las que se dosifica un mortero puede definir propiedades a veces específicas y otras generales. Otro tipo de cambio que se produce en el suelo arcilloso, al incorporarle cal, es que con una determinada cantidad, entre el 10 al 12% del volumen de masa, los valores de características físico-químicas se estabilizan, la viscosidad de la mezcla de mortero no cambia,

⁸ UNE-EN 459/1:2011 Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad

alcanza lo que se denomina “punto de retención con cal” (Mateos, 2013). De esta forma, se aprecia la importancia que tiene especificar y conocer el comportamiento de las adiciones que se incorporan en los productos para revestimiento y, muy en especial, a los revocos de arcilla.

Estos aspectos también influyen en las posibilidades de acabados que permiten los morteros de arcilla con cal. En el caso de aplicar sobre ellos estucos, encalados o enjalbegados, la trabajabilidad en la aplicación de capas sucesivas, la opción de hacer texturas con un diseño de acabado específico, la retracción o la mayor o menor resistencia a esfuerzos o a la intemperie, definen la consistencia y el porcentaje de agua que debe incorporarse al revestimiento.

En este sentido se elabora la tabla 5.3, como referencia de los datos que facilita FBB en las “Reglas profesionales para morteros para revocos de tierra” (FFB, 2012) ya que es un antecedente orientativo de dosificaciones posibles de aditivos para los morteros de arcilla que los define.

Tabla 5.3

DOSIFICACION de CAL para REVOCOS DE ARCILLA (según FBB, 2012)					
CAPAS	Volumen relacionado para 10 volúmenes de arena		kilos relacionados para 1000 litros de arena		
	CL/DL	NHL	CL/DL	NHL	CEM+CL
Base	6		300		
		5		350	
	5	2	(250)	(140)	390
Revoco	5		250		
		4		280	
	3	2	(150)	(140)	290
Acabado enlucido	4		200		
		3		210	
	3	1	(150)	(70)	220

Además de los conglomerantes, al mortero de arcilla se le pueden añadir otros componentes como partículas que no son arena, fibras, aditivos líquidos o en polvo, como colorantes o plastificantes, e incluso estabilizar el mortero con cemento.

Puesto que en este trabajo de investigación se pretende estudiar el comportamiento de los morteros de arcilla predosificados y preparados sin aditivo y agregar cal para la definición de las dosificaciones con aditivos, se muestra la tabla 5.4, como síntesis de todas las opciones viables de aditivos que pueden incorporarse a los morteros de arcilla. Se relacionan los aditivos con la función que cumplen en cada capa

del revoco. En esta tabla se recogen los productos verificados en otros trabajos y publicaciones y se deja abierto a futuros estudios que se verifiquen científicamente otras posibilidades de aditivos para estos revestimientos.

Tabla 5.4

CLASIFICACION de ADITIVOS para MORTEROS de ARCILLA						
PRODUCTOS		TIPO		CAPA DE APLICACIÓN - FUNCIÓN		
				base	revoco	enlucido
Aditivos	cal	aérea	CL - en polvo	estabilizante	estabilizante	estabilizante
			SPL - en pasta			
		hidráulica	NHL 2			
			NHL 3.5			
	partículas	naturales	puzolana	textura		
			bolas de arcilla			
		material triturado y tamizado	ladrillo cerámico			
			piedra pómez			
	fibras	naturales	material de demolición	refuerzo frente a la retracción	evitar fisuración textura	
			paja cortada			
			heno			
			cáñamo			
			aserrín			
			viruta			
			cascarilla de arroz			
			fibra de bambú			
			fibra de coco			
			fibra de sisal (fique)			
			pulpa de papel de periódico (celulosa)			
			estírcol de vacuno			
	colorantes	naturales			estética	estética
		artificiales				
	fijadores		gluten vital de trigo		adherencia protección biocida	
			silicato natural			
			siloxanos en base orgánica			
	retenedores de agua	naturales	jabón líquido neutro		impermeabilizar	impermeabilizar
			leche entera			
	plastificantes	naturales	jabón con cal aérea		evitar fisuración impermeabilizar estabilizar	evitar fisuración impermeabilizar estabilizar
			caseína			
			aceite de linaza			
			mucilago de nopal			
			engrudo			
			excrementos de vacuno			
			resinas naturales			
		químicos	emulsión asfáltica		evitar fisuración impermeabilizar	evitar fisuración impermeabilizar
			resinas artificiales			
	Estabilizador artificial	cemento	CEM I		estabilizar	estabilizar
			CEM II		impermeabilizar	impermeabilizar

6 – REVESTIMIENTOS DE ARCILLA: PRODUCTO NATURAL

6.1.- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS REVOCO DE ARCILLA

Los revocos de arcilla deben analizarse como una solución constructiva dentro de los posibles revestimientos pero también es un medio de expresión y difusión del arte y estética en determinados ámbitos culturales ya que, durante siglos y generaciones, ha cumplido la función de reflejar modos de vivir y saber hacer. Los morteros de arcilla se han empleado tradicionalmente como capa de acabado de las construcciones de tierra cruda. El revoco exterior de los muros era el recurso constructivo para garantizar principalmente la protección de las fachadas.

Como queda reflejado en el capítulo 3: De la tradición a la innovación, en la actualidad los morteros de arcilla para revoco pueden clasificarse en los mismo términos que el resto de revestimientos que define la norma UNE-EN 998-1: 2010¹, por tanto, se adopta la terminología establecida donde quedan definidos los siguientes conceptos:

- **mortero de arcilla para revoco:** para capas de enfoscado o embarrado que cubre la base soporte. El mortero se aplica en una o varias capas sucesivas hasta lograr la regularización de la superficie. Generalmente, se adiciona a la mezcla de arcilla un estabilizante (cal o cemento) o aditivo de partículas o fibras para conceder a la masa mayor plasticidad y capacidad de absorber retracciones. Puede ser utilizado como revoco exterior o interior (ver tabla 5.2 Capítulo Revestimientos continuos naturales)
- **mortero de arcilla para enlucido:** para capa final de acabado superficial. Puede ser el mismo mortero para revoco o estar compuesto por menor granulometría y ser más fina, además, contener aditivos específicos para realizar un acabado concreto (lisa o trabajarse una vez seca con cepillo para lograr rugosidades o texturas). Normalmente se usa en interiores.

La misma norma establece que los morteros para revocos base y revocos o enlucido “adquieren sus características definitivas después de su completo endurecimiento. El cumplimiento de las propiedades de un mortero para revoco o enlucido depende de las características de los materiales utilizados, así como de los espesores de las capas y del tipo de aplicación. Además, de determinar el aspecto de la superficie de las construcciones”.

¹ Norma UNE-EN 998-1:2010. Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revocos y enlucidos, donde se definen las designaciones de los morteros destinados a revocos o enfoscados y/o enlucidos.

Los morteros de arcilla deben garantizar suficiente flexibilidad y deben tener capacidad de absorber las posibles tensiones que se producen en pequeños movimientos diferenciales en el soporte. Estos movimientos pueden estar provocados principalmente por cambios térmicos, de humedad y/o acciones estructurales además de posibles impactos o agresiones externas.

Básicamente deben ser mecánicamente resistentes frente a las tensiones de compresión, para tener capacidad de soportar presiones sin disgregarse y, en cuanto a la resistencia a tracción, deben responder a la oposición de las partículas a separarse. En este último caso, la resistencia se mide por las tensiones de flexión, ya que se trata de evitar que se manifiesten fisuras o roturas que desencadenen otro tipo de lesiones de rotura (fisuras o grietas).

Un aspecto importante a considerar es que el mortero que se aplique sobre cualquier superficie a revestir no debe presentar resistencias superiores al soporte, cualidad que exige el control estricto en el estudio de las dosificaciones y características de los elementos constructivos que se utilicen como base del revoco. Además, diferenciar el grado de exposición que tiene el soporte, para utilizar el mortero adecuado según esté expuesto a la intemperie en superficies al exterior, en espacios semicubiertos protegidos o en el interior.

En términos generales, los revestimientos continuos se definen mediante la aplicación de diferentes capas de mortero sobre la base soporte o muro, en las que cada una cumple una función específica. En textos técnicos se describen los revestimientos continuos, tanto interiores como exteriores, considerándolos desde el aspecto de revestimiento en vertical, no se hace referencia a planos horizontales o inclinados donde el mantenimiento de la capa protectora puede ser fundamental para la adecuación de la solución constructiva. (Didier-Feltgen, 2005)

Tras estas consideraciones de características técnicas, se debe precisar que para los revocos con morteros de arcilla son de aplicación las mismas definiciones establecidas en la clasificación de la norma UNE-EN 998-1: 2010 de referencia, distinguiendo las capas que lo conforman de la siguiente manera:

- Capa de revoco base o mortero de regularización

Es la primera capa de revoco que se aplica directamente sobre la base soporte y tiene la función de capa de agarre y de regularización de la superficie del muro. Esta capa se realiza con una o dos aplicaciones según el estado de conservación y planeidad vertical de la cara superficial del paramento. Para cubrir las irregularidades que puedan existir, la capa se realiza para tener un acabado uniforme por lo que su espesor puede oscilar entre los 10 mm, como mínimo, y unos 50 mm, como máximo, incluso en algunos casos tener mayor grosor.

Esta primera capa es la que asegura la adherencia al soporte y normalmente, la superficie que se ejecuta resulta rugosa y puede acabarse con cierta aspereza para crear estriadas o relieves que faciliten la adherencia de la siguiente capa de revoco. En algunos casos puede constituir la única capa de revestimiento, servir como acabado monocapa con aspecto y estética rústica buscada con cierta intencionalidad de diseño; para ello, sería conveniente utilizar morteros de arcilla con aditivos de fibra o intercalar una malla textil en su espesor para controlar la posible fisuración por el grosor final.

Cuando el soporte no es homogéneo o presenta una superficie irregular, por estar construido con diferentes materiales, también es recomendable que se utilice mortero de arcilla con fibra u otros productos que le confieran resistencia a flexión y a la contracción (Foto 6.1). En estos casos, donde los espesores establecidos oscilan entre los 30 a 50 mm, es necesario que la masa del mortero de arcilla se aligere y tenga capacidad de retracción sin fisurarse y/o incorporar una capa de malla textil que ayude al agarre con la superficie base.



Foto 6.1: Capa base con mortero de arcilla con fibra como revoco de muro de mampostería - Morón de la Frontera

-Capa de revoco

Es la primera capa o la segunda del revestimiento continuo, según el caso. El revoco se puede aplicar directamente sobre la base soporte si la superficie es homogénea, regular y presenta muy pocas imperfecciones. En estos casos, el mortero de arcilla se coloca en una o dos capas con espesores finales que oscilan entre los 2 a 8 mm para garantizar una correcta aplicación, secado y retracción sin fisuración, siempre dependiendo de las características del muro y el material soporte (Foto 6.2). Puede aplicarse con morteros sin aditivos o cuya dosificación contenga algún tipo de estabilizante. Se le añade fibras u otros productos plastificantes según la función y grado de exposición del revoco.

Si es la segunda capa del revestimiento, el mortero de arcilla se aplica sobre la primera (capa base) y no tiene por qué ser el mismo tipo de producto. Normalmente, se utiliza un mortero sin aditivos y de menor granulometría. En este caso, la segunda capa constituye el “cuerpo” del revoco, se aplica de 2 a 8 días después de la primera capa. Se busca que sea una capa resistente y estanca, para ello si se alisa después de unas horas de secado, el revoco mejora la compacidad al cerrar las microfisuras.



Foto 6.2: Fases de ejecución de revoco de morteros de arcilla trabajados en dos capas con alisado de llana
– Vivienda Unifamiliar “Casa La Cucarochona” - Teruel

- Capa de acabado o enlucido

Es la tercera capa y el acabado del revestimiento. Se aplica sobre la capa de revoco y normalmente utilizando el mismo material. Para su aplicación la capa precedente no debe haber secado o fraguado, si contiene aditivos, completamente. La misma definición que especifica la norma UNE-EN 998-1:2010, es válida para los morteros de arcilla, la primera capa de revoco no debe estar totalmente seca antes de realizar la siguiente capa, es decir, se debe colocar mortero en fresco sobre fresco. Esta capa de terminación se denomina enlucido, es fina, decorativa y puede tratarse de diferentes maneras para lograr diferentes tipos de acabado: alisado satinado, texturas, esgrafiado o pintado (Foto 6.3).. Los espesores que debe tener oscilan entre los 0.5 a 2 mm.



Foto 6.3: Acabados con enlucidos de morteros de arcilla para una pastelería en Mataró - Barcelona(izq.) y habitación de hotel – Teruel (dcha.) (Créditos: Ecoclay)

- Acabados especiales

A la capa de revoco se le pueden aplicar diferentes tratamientos superficiales. Puede considerarse la única capa de terminación y, para ello, el mortero de arcilla debe dosificarse y/o estabilizarse para poder realizar un acabado decorativo. Se puede raspar la superficie, darle rugosidad trabajada con llana, cepillo estriado o superponer capas de mortero con fibras o con una masa más o menos fluida para generar diversos tipos

de texturas. Otros métodos de tratamiento estético de la superficie, se consiguen con el picando las capas de mortero con instrumental apropiado de tallado de superficies blandas o mediante pulido de zonas o dibujos para lograr brillos y texturas esgrafiadas; de esta manera se pueden combinar morteros de arcilla de diversos colores o producir diseños en relieve con diferencias de color a través del vaciado parcial de capas de revoco (Foto 6.4). Para todo ello, los espesores de este tipo de acabado varían de 3 a 6 mm.



Foto 6.4: Acabado decorativo realizado con morteros de arcilla. Texturas en bajo y sobre relieve. (Fuente: Arterre.sk)

- Funciones del sistemas de revestimiento

La función del revestimiento que se aplica sobre la superficie de un elemento o sistema constructivo, que sería el soporte (muro, suelo, cubierta, falso techo), puede ser, en términos generales, de proteger, cubrir, sanear, conservar, adornar y/o embellecer. Por lo que garantizar que el revoco cuente con ciertas propiedades (resistencia mecánica, adherencia, estanqueidad, durabilidad) está directamente relacionado con las funciones o prestaciones que deba cumplir.

Por todo ello, se puede definir que igual que para todos los tipos de revocos, los morteros de arcilla cumplen una **doble función** como revestimiento continuo, tanto para uso exterior como para interior:

- Revoco de protección

En el exterior, el revoco tiene la función principal de proteger a la superficie del muro de agentes atmosféricos, sobre todo en elementos constructivos expuestos a la intemperie, el revestimiento cumple una función primordial de escudo protector frente al ataque de los agentes atmosféricos. La acción del agua, el viento y la radiación solar directa sobre la superficie de los paramentos puede afectar significativamente su durabilidad.

Los revestimientos continuos se aplican sobre toda una superficie, en varias capas superpuestas y, como se ha expuesto anteriormente, el espesor varía dependiendo de la función de cada capa. El revoco debe ejecutarse aplicando una sobre otra para garantizar la adherencia a la base soporte y dar un acabado permeable al vapor de agua, desde el interior hacia el exterior, pero suficientemente resistente a la erosión y las acciones perjudiciales de la humedad. Las capas más sensibles son las superficiales, por su grado de exposición directa al ambiente, exterior o interior, aunque es la capa base la principal afectada en el caso de influir lesiones o deterioros del muro por causas como la acción de la humedad o falta de estabilidad.

Para que un revoco de arcilla sea capaz de proteger, especialmente del desgaste que provoca la acción de la lluvia y el viento, es necesario que su dosificación esté controlada y el acabado de la superficie debe ser liso y poco poroso. Para ello, las capas que se aplican para cumplir esta función son el revoco base y un revoco con aditivos estabilizadores para dotar al paramento de mayor resistencia, impermeabilidad y un acabado adecuado.

El concepto de protección también debe utilizarse para los revocos de interior, los morteros de arcilla garantizan mejor respuesta como revestimiento de paredes de estancias y tabiques divisorios. El hecho de estar protegidos del desgaste exterior no significa que no deban garantizar adherencia al soporte, ser resistentes a la erosión y las acciones perjudiciales de la humedad. En este caso particular, la permeabilidad al vapor de agua y la capacidad de regulación de la temperatura y la humedad ambiente le confieren la propiedad de mejorar la calidad del aire interior de los espacios donde se utiliza, lo que se puede considerar una protección salubre

- Revoco de expresión estética

La estética del revestimiento es un apartado importante a considerar, ya que la textura y los colores empleados en su conjunto, tienen un papel fundamental en el diseño final del muro. Los morteros de arcilla son productos con altas posibilidades de aplicación en el ámbito decorativo, no sólo por la riqueza de colores que se obtienen sino por las posibilidades de enriquecer los acabados con técnicas artesanales de moldeado de las superficies.

Este producto permite homogeneizar zonas a través de un acabado determinado o destacar ciertos elementos del muro, cuestión que enriquece bastante a las fachadas mediante detalles particulares que resaltan la composición de la misma. Los recursos de diseño, estéticamente estudiados, remarcan y valorizan elementos constructivos por medio de composiciones donde se pueden aportar datos de modulación, distintas texturas, rugosidades, brillos o tonos de color. Con morteros de arcilla de diferentes colores también se pueden plasmar serigrafías, sobre todo al añadir cal a la mezcla o combinar la base de mortero de arcilla con enlucidos de cal. En este sentido, cabe mencionar la referencia de tratamientos tradicionales que muchas culturas realizan con el mortero de arcilla sobre superficies de gran valor artístico, como se menciona en el capítulo 3. De la innovación a la tradición, de este trabajo.

En la tabla 6.1, se hace un resumen de las relaciones entre las propiedades y funciones que deben cumplir los morteros de arcilla para revocos.

Tabla 6.1

RELACION ENTRE PROPIEDADES Y FUNCIONES DE LOS REVOCOS DE ARCILLA						
PROPIEDADES	FUNCION	USO		CAPAS		
resistencia mecánica	PROTECTORA	exterior		Protección contra la lluvia batiente	base	revoco
				Impermeabilizar		
adherencia				Mayor estabilización de los muros expuestos al exterior		
permeabilidad				Proteger de erosiones, choques y rozamientos		
				Mejorar el aislamiento térmico (enlucidos ligeros)		
	ESTETICA	interior		Cubrir irregularidades	enlucido	
estanqueidad				Aspecto exterior cuidado según técnica de acabado		
				Mejorar el aspecto del muro y disimular sus defectos		
durabilidad				Mejorar el aspecto mediante el color		
				Enriquecer con texturas en bajo o alto relieve		

6.2.- PROCESO DE PRODUCCIÓN Y FABRICACIÓN DE LOS REVOCOS DE ARCILLA

Según su clasificación, se puede diferenciar revocos de arcilla por sus materiales componentes, para ello se pueden distinguir:

- **Morteros de arcilla simples:** mezcla de tierras arcillosas y áridos sin aditivos más la dosificación correspondiente de agua
- **Morteros de arcilla compuestos o mixtos:** mezcla de tierras arcillosas, áridos más un porcentaje preestablecido de aditivo (cal, cemento, partículas, fibras, etc.) y la cantidad de agua adecuada.

Así como a nivel normativo se hace una clara diferenciación de las designaciones de los morteros según su función y propiedades, para los revocos de arcilla es importante diferenciar también ámbitos de aplicación. Esta clasificación no diferencia escalas arquitectónicas, pero sí es necesario identificar el tipo de ejemplos que pueden pertenecer a la arquitectura monumental o a edificaciones que abarcan una tipología amplia entre el edificio público y la construcción residencial.

El referenciar una u otra tipología de edificio condiciona el tipo de soporte a revestir, ya que se trata de superficies ejecutadas en distintos periodos de tiempo y con soluciones constructivas, normalmente variadas. El tipo de mortero de arcilla que se emplee como revoco en uno u otro caso debe cumplir los requerimientos adecuados que la superficie soporte imponga. Por eso, se debe distinguir las siguientes condiciones de uso del revoco:

- **Que la capa de revoco proteja y revista superficies de edificaciones antiguas,** principalmente, construidas en tapia o adobe. Se asocia el material base del muro (tierra cruda) a la compatibilidad del tipo de mortero, por lo tanto, las experiencias llevadas a cabo mediante intervenciones contemporáneas que tratan de modificar esta circunstancia provoca que la aplicación de otros productos diferentes al mortero de arcilla no siempre resulten acertadas. Esto sucede cuando, por desconocimiento de las propiedades y cualidades del soporte se unifica el criterio de aplicación de revocos con morteros de cemento, lo que produce el rechazo del propio muro a la capa que debe servir de escudo protector. La solución que tradicionalmente se ha aplicado a revocos para este tipo de construcciones, solía ser un mortero dosificado con el mismo tipo de tierra empleada en el muro y cal o, directamente, un revestimiento de **mortero de cal aérea** como capa protectora para su conservación.

- **Que la solución de los revestimientos sea aplicar revocos de arcillas en construcciones actuales.** En este caso las dosificaciones de los morteros se realizan con tierras arcillosas de un entorno cercano a la misma obra o se emplean morteros predosificados. Se utilizan referencias previas para la preparación de la masa y medir la proporción de componentes, empleando como dato experiencias ya contrastadas en trabajos publicados², o directamente el revoco es una mezcla en seco previamente preparada en fábrica para utilizar directamente en obra³.

En este sentido, se debe precisar que, actualmente, el proceso de producción y fabricación de morteros de arcilla para revocos debe ser diferenciado en dos grandes grupos:

- **Morteros en base a tierra arcillosa:** son mezclas de componentes de tierra arcillosa y arena dosificados y seleccionados según criterios de experimentación in situ, en la propia obra. Se selecciona el tipo de mortero a utilizar posteriormente a la aplicación de muestras de varias dosificaciones según el método de prueba y error, bajo pautas mínimas de utilización. Según el resultado obtenido mediante estas pruebas empíricas de adherencia y verificación de la respuesta del producto a la desecación por fisuramiento y retracción, se decide la muestra más adecuada para revestir la base soporte.

La metodología de ejecución de las muestras suele realizarse, directamente sobre el soporte, con una selección previa de varias dosificaciones, mezclas y técnicas de aplicación ya sea por adherencia, proyección manual o mecánica, nivelado, allanado y, por último, el tipo de acabado. Además, se establecen las proporciones de agua de cada uno de estos morteros teniendo en cuenta las diferentes capas del revoco que se deben asemejar a aquellas que se lleven a cabo definitivamente (FFB, 2012)

- **Morteros preparados y predosificados de arcilla:** son aquellos morteros que, bajo procedimiento de control industrial, se fabrican como producto predosificado, preparado y envasado con unas determinadas características catalogadas por la empresa que lo comercializa. Una vez en obra, la mezcla se prepara mediante la adición de agua y puede ser utilizado directamente sobre diferentes tipos de soportes de muros. Las condiciones de aplicación y acabados se establecen bajo supervisión o asesoramiento de la empresa que los suministra o técnico competente. Los morteros preparados de arcilla para revocos ofrecen seguridad en la dosificación de sus

² El **facsímil de Gernot Minke** “Revoques de barro. Mezclas, aplicaciones y tratamientos, publicado en español en 2014, constituye una guía rápida de orientación para la composición de morteros de tierra y su aplicabilidad basada en una serie de pruebas de campo que facilitan la tarea de selección de la muestra de mortero adecuada para cada soporte.

³ En este mismo apartado se describen las principales empresas comerciales de Europa, incluida España, que suministran morteros de arcilla preparados para la construcción.

componentes, regularidad del suministro, facilidad de uso, aunque existe la necesidad de evaluar si es posible que mediante la predosificación se puedan realizar morteros más específicos. Este último aspecto, fundamenta la coyuntura de plantear los objetivos perseguidos con el desarrollado en este trabajo de investigación.

Una particularidad que tienen los morteros de arcilla, tanto elaborados in situ como los predosificados, es que se deben humectar y preparar con antelación a su aplicación. Depende de la dosificación del revoco y fundamentalmente si contiene o no aditivos, pero para los revocos sin aditivos debe agregarse el agua de amasado al menos 2 o 3 horas antes o con un día de antelación a la colocación directa sobre la superficie a revestir. De esta forma se consigue mejorar la plasticidad de la mezcla. El agua que se aporta, cuando está adecuadamente dosificada, forma una envoltura sobre las partículas laminares con efecto lubricante; como las partículas son de bajo tamaño permite que se adapten a cualquier forma. Esta propiedad facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas, lo que influye en los valores de consistencia y plasticidad del mortero y la trabajabilidad que se obtiene con las herramientas de aplicación.

El tiempo de utilización de los morteros de arcilla preparados en seco, no tiene fecha de caducidad ya que los componentes, tanto la arcilla como los áridos si se humedecen por afección del empaquetado, en el transporte o acopio a pie de obra, al volver a secarse siguen conservando sus características y propiedades intrínsecas. Los revocos de arcilla, al estar compuestos por materiales naturales son de fácil utilización y aplicación pero necesitan normalmente una revisión periódica de control de su mantenimiento periódico, por lo menos una vez cada año.

- Proceso de producción y fabricación

Uno de los principales objetivos, de este trabajo de investigación, pretende crear una base de estudio para difundir las principales características de los productos de arcilla para revocos y establecer fuentes de información actualizadas para evaluar si existen posibilidades de desarrollo de los morteros de arcilla, como producto predosificado y preparado y su aplicación en edificación.

Con ese cometido se establece un listado de las principales empresas que dominan el mercado actual en la producción y/o comercialización de morteros de arcillas. A nivel internacional, ya hace unas décadas, los países que encabezan la distribución de estos productos en Europa son Francia, Alemania, Reino Unido y como extensión de este último país se amplía el mercado a Estados Unidos y Canadá. Igualmente, la distribución de los productos de morteros de arcilla se ha extendido por Europa además de los principales países productores por otros que actúan como sucursales de los primeros que abarcan Austria, Suiza, Italia, Bélgica, Holanda, Noruega, Polonia, Rumania, Portugal y España. Además, el abanico se extiende también por otros continentes como Australia y Asia (India, Japón y Taiwán).

En la Tabla 6.2, se muestran las principales empresas comercializadoras de morteros de arcilla predosificado, especificando el país de suministro. Se señala a Ecoclay como la empresa que suministra el producto utilizado en este trabajo de investigación.

Tabla 6.2

EMPRESAS QUE COMERCIALIZAN MORTEROS DE ARCILLA PREPARADOS			
Símbolo o sello comercial	Empresas que comercializan morteros de arcilla	País	Productos
	ECOCLAY http://www.ecoclay.es	España	morteros de arcillas preparados materia prima de canteras nacionales
	Embarro Ibérica http://www.embarro.com	España / Portugal	morteros de arcillas preparados distribuidora de productos de Alemania
	Kreindezeit Naturfarben GmbH http://www.kreidezeit.de	Alemania	morteros de arcillas preparados
	CONLINO http://www.conluto.de		
	CLAYTEC http://www.claytec.de		
	American Clay http://www.americanclay.com	Estados Unidos	
	ARGILUS http://www.argilus.fr	Francia	
	AkTerre http://www.akterre.com		
	EcoLodeve http://www.ecolodeve.fr		
	The Clay Plaster Company http://www.theclayplastercompany.co.uk	Reino Unido	

Los últimos años en España, el mercado de los materiales naturales se implanta como un recurso de desarrollo para las áreas productivas a nivel económico afectadas por el freno de actividades debido a la crisis actual, especialmente de la construcción. Empresas mineras, que hasta ahora destinaban gran parte de su producción de materia prima para la industria cerámica, ahora también comercializan arcillas para otros fines y comienzan a redireccionar su mercado de distribución. Esta nueva posibilidad de comercio les ha llevado a modificar las dinámicas tradicionales de negocio herederas de un sistema gremial, poco innovador y muy limitado en cuanto a diversificaciones y modificaciones de modos de hacer.

De esta forma, el camino que se está empezando a trazar parte de la integración de las empresas con equipos de investigadores. Esta tendencia genera la posibilidad de una colaboración intensa y estimulante que está contribuyendo al estudio de la aplicación de las arcillas en la construcción como material natural. El producto que suministran es de alta calidad y tiende cada vez más a abrir un nuevo perfil mercantil que resulta desconocido para la gran mayoría de técnicos y promotores hasta este momento en España. Los ejemplos más concretos son los productos de Ecoclay, que proceden de canteras nacionales en la provincia de Teruel y los de Embarro, distribuidores oficiales de los productos que más se venden en Alemania, de las empresas Kreindezeit Naturfarben GmbH y Conluto (producto Conlino).

6.3.- PREPARACIÓN DE LA BASE SOPORTE PARA LA APLICACIÓN DE REVOCOS DE ARCILLA

Uno de los componentes fundamentales para definir cualquier tipo de revoco es conocer sobre qué tipo de soporte se va a aplicar. Para garantizar la adecuada funcionalidad de los morteros de arcilla, estos soportes deben reunir una serie de características que permitan la perfecta adherencia con el mortero así como la durabilidad de dicha unión. Así mismo, previo a la aplicación de los revocos, hay que tener en cuenta ciertas consideraciones fundamentales para establecer pautas que permitan evaluar la idoneidad de la base soporte y que se definen a continuación:

- Limpieza y estabilidad del soporte

La base soporte del muro o paramento a revestir debe ser estable y estar limpia, sin desprendimientos superficiales o pérdida de masa, resistente a la abrasión. La superficie a revestir o el soporte debe estar seca, exenta de restos de agentes bióticos (raíces vivas, musgos y/o líquenes), sin lesiones importantes ni afecciones provocadas por efecto de la humedad.

Si existen eflorescencias, humedades por filtraciones o capilaridad, se debe realizar un tratamiento previo adaptado a la situación. Igualmente, para evitar problemas de adherencia con el mortero, la superficie debe prescindir de restos de polvo, otros revestimientos, desencofrantes, grasas o aceites, costras de suciedad y pinturas. Antes de comenzar con los trabajos de revestimiento es esencial depurar la superficie del soporte de todo aquello que no sea estable o pueda contribuir a dificultar las tareas de aplicación o las condiciones mecánicas del muro.

El concepto de limpieza está vinculado al de cohesión o estabilidad de los materiales que componen el muro. En este sentido, es esencial destacar, que los revocos no deben mantener los elementos inestables en su lugar. Si no existe garantía de estabilidad, deberá estabilizarse la zona afectada mediante trabajos de consolidación previos a la aplicación del revestimiento. En el caso de obras de rehabilitación, es importante extraer todo resto de revestimientos preexistentes o posibles encostramiento de restos de morteros aplicados previamente, en especial si son de cemento o de yeso, siempre que sea posible extraerlos y que no signifiquen una huella histórica a mantener.

Por lo tanto, se debe evaluar el estado del paramento y que grado de afección por deterioro o disgregaciones y verificar la viabilidad del método de limpieza a aplicar, ya sea mediante un procedimiento suave de cepillado superficial o empleando técnicas más agresiva con aire comprimido, chorros de arena o agua a presión. En el caso de que el muro este afectado por humedades, conviene dejarlo secar antes de la aplicación del revoco durante un periodo que garantice la recuperación del equilibrio hídrico de sus materiales y libere las posibles sales retenidas.

- Consolidación y compatibilidad del soporte

Es necesario que la base soporte sea regular y cuente con el suficiente curado del mortero de agarre en el caso de mamposterías u obras de fábrica y el secado adecuado si se trata de muros con técnicas de tierra cruda (tapia, adobe, btc o entramados) Se debe esperar el tiempo necesario después de su ejecución para conseguir esta estabilidad antes de aplicar el revoco.

Si es necesario aplicar técnicas de consolidación del soporte, por tratarse de muros antiguos, hay que aplicar el mismo criterio. Después de la restitución o reconstrucción, compactación de la zona afectada por lesiones o reconstrucción de nuevas piezas, se debe dejar pasar un tiempo prudencial para la ejecución de la capa de revestimiento. Se deben estudiar los muros compuestos ya que pueden presentar materiales de diferente porosidad y se corre el riesgo que tras la aplicación del revoco se manifiesten abombamientos en la capa de acabado y provoquen posibles lesiones como fisuraciones o pérdida de masa localizada por desprendimientos (FFB, 2012)

Cuando la superficie a revestir presenta una composición heterogénea de materiales de diferentes características o el muro ha sufrido diversas intervenciones con el paso del tiempo y la disparidad de materiales empleados es evidente, se debe aplicar sobre una primera capa de mortero base una malla textil de trama vegetal o sintética. Esta malla puede introducirse en la misma capa de mortero sin ningún tipo de fijación mecánica o fijarla en algunos puntos para evitar el deslizamiento en vertical u horizontal. En este último caso hay que tener la precaución de no utilizar mallas ni fijaciones metálicas para evitar manchas por oxidación o incompatibilidades por reacciones de pares galvánicos entre diferentes minerales metálicos del mortero de arcilla.

Cuando el soporte sea tapia o de estructuras de entramados compuestos de dos materiales, madera y material de relleno, se pueden colocar diferentes tipos de tramas como agarre del revestimiento, como enrejados de listones de madera, paja larga, cañizo o mallas vegetales de esparto, lino, cáñamo o yute. En caso de muros de mampostería o de fábrica, con mampuestos de adobe o BTC, se aconseja revestir con una primera capa de revoco base que permita uniformar la superficie con la intención de eliminar las irregularidades de las juntas. En ocasiones, cuando la superficie del soporte es poco porosa o no existen garantías de compatibilidad con los morteros de arcilla, es aconsejable revestir las mamposterías o fábricas con una lechada de cal o producto fijador como capa previa a la del revoco. Esta capa de unión entre el soporte y el revoco funciona como vínculo de transición para asegurar la adherencia.

Por lo tanto, a modo de síntesis, de este apartado, se exponen las características principales que debe reunir un soporte para ser compatible con los componentes del mortero de arcilla deben contemplar los siguientes aspectos:

- Se deben evitar las reacciones químicas entre los componentes tanto del soporte como del propio mortero, como puede ocurrir en la incorporación de anclajes o mallas metálicas en la unión entre ambos o la adición de sustancias incompatibles, que por reacción química afecten la estabilidad del revoco.
- La resistencia del mortero y su coeficiente de dilatación no deben ser nunca superiores a los del soporte, especialmente si éste es antiguo, para evitar fenómenos de fisuración
- El soporte debe contar con la rugosidad suficiente para facilitar la adherencia del mortero fresco permitiendo el anclaje del mismo. Si fuese necesario se puede recurrir al raspado o picado de la superficie con cuidado de no aumentar excesivamente las diferencias de relieve; o bien colocar mallas perfectamente ancladas, como ya se ha mencionado.
- El control de la planeidad de la superficie a revestir debe hacerse con rigor. Los desniveles no deben superar 3 mm con regla de 1 m en morteros de revoco maestreados y 5 mm sin maestrear (AFAM, 2006). En caso contrario se podría aplicar una capa extra de revoco base para la regulación completa del soporte

- Si el soporte es poco poroso debe valorarse disponer un puente de adherencia que permita una buena adhesión del mortero.
- La capacidad de absorción de agua está limitada al grado de consistencia y plasticidad del mortero para que no se produzca una desecación prematura de la masa antes de su proceso de secado que podría originar fenómenos de ahogamiento.
- La base soporte debe contar con un cierto grado de humedad antes de aplicar el revoco de arcilla, por lo que, de ser necesario, se deberá humedecer previamente y esperar a que deje de estar saturado antes de aplicar el mortero.

6.4.- TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE LOS REVOCOS DE ARCILLA

Los criterios a tener en cuenta para establecer la técnica adecuada para la aplicación de los morteros de arcilla, por una parte, están condicionados por el tipo de base soporte y, por otro, por circunstancias de contexto, diseño del acabado y/o soluciones constructivas.

Las cuestiones más relevantes a tener en cuenta cuando se concretan aspectos constructivos de este tipo de revestimiento, son las condiciones climatológicas en las que se ejecuta la obra, la orientación y el grado de exposición de los muros, los niveles de protección necesarios, las condiciones de ejecución en el exterior o interior y la resolución de los puntos singulares son premisas que determinan y justifican la aplicación de una determinada técnica. El revoco de arcilla se debe preparar y aplicar a temperaturas superiores de 0°C (Reglas profesionales, 2013), lo que normalmente obliga a organizar los plazos de obra en meses de temperaturas y humedad media.

Entre los apartados que simplifican la puesta en obra, influye el período de tiempo de utilización que permiten los morteros de arcilla en estado fresco. Una vez humectada y amasada la mezcla está garantizada, por la mayor parte de los fabricantes de estos productos, una durabilidad adecuada al menos una semana; siempre que se conserve sin aditivos, condiciones de humedad mayores al 90% y temperatura constante. Para ello, se establece la conveniencia de preservar la amasada en recipientes adecuados, debidamente cerrados, para evitar la pérdida de humedad. En este sentido, mientras se disponga de cantidades en volumen de poco rango (menores a 50 kg), la conservación de la masa de mortero de arcilla en recipientes con tapa nos permite su utilización durante más o menos siete días. Si las condiciones de almacenamiento o acopio del mortero no garantizan un resguardo óptimo, la masa se secará en pocas horas y, si la dosificación del mortero contiene aditivos de cal o cemento, el proceso de fraguado con estos conglomerantes es evidente y el material resultaría inutilizable.

A partir de la aplicación del revoco, se debe proteger el soporte revestido con ayuda de lonas o plásticos. Es importante conservar en condiciones adecuadas de humedad la aplicación, favorecer el secado gradual de las capas de revoco y garantizar una temperatura constante, para evitar que queden expuestas a cambios bruscos que puedan afectar el proceso de retracción. Cuando la tierra arcillosa pierde la capacidad de regulación de la humedad, el revoco se degrada.

El mortero de arcilla, en las primeras horas de aplicado, necesita que el soporte o muro contenga humedad en reserva para favorecer la evaporación en el proceso de secado hacia el exterior y evitar que el muro absorba humedad del revoco y genere diferencias de retracción. Se debe tratar de terminar un paño de soporte en una jornada, para darle mayor uniformidad al acabado y evitar el secado rápido (Figols, 2006). Además, para los morteros que contienen aditivos de cal aérea o hidráulica, la reacción química de ambos productos necesita de agua y de un medio húmedo para facilitar el proceso de carbonatación.

- Aplicación manual sobre soporte

Para la realización de la capa base puede emplearse la técnica tradicional de lanzamiento de la mezcla de mortero con palustre o con la mano, desde unos pocos centímetros de distancia hacia la superficie a revestir, para luego alisar el mortero con llana, siempre de abajo hacia arriba. La uniformidad de la superficie se puede trabajar con esponja humedad o llana con revestimiento de esponja o fieltro húmedo. Las microfisuras que pueden aparecer, como efecto del proceso de secado, se pueden hacer desaparecer con movimientos circulares y una suave presión si el mortero aún está fresco; este mismo procedimiento se puede repetir sobre la superficie seca del revoco pero ejerciendo mayor presión (Foto 6.5)

La capa de revoco, se puede realizar con el mismo método de ejecución de la capa anterior. Si la mezcla del mortero tiene la consistencia adecuada el alisado de la superficie con llana se realiza con movimientos circulares hacia un solo lado. Cuando el mortero haya secado un poco se puede repetir el procedimiento de alisado de la segunda capa del revoco con movimientos circulares y una esponja humedad que facilita el ascenso de los finos del mortero y muestra una apariencia de mejor acabado.

La capa de enlucido se aplica con llana metálica flexible, haciendo presión sobre la capa de revoco aun fresca hasta lograr una fina película de menos de 2 mm. Esta capa de acabado fino también se puede aplicar sobre revoco endurecido pero previamente hay que tratar la superficie mediante raspado, limpieza y humectación para conseguir una correcta adherencia final.



Foto 6.5: Técnica de aplicación de mortero de arcilla con fibras para capa base

- Aplicación mediante proyección de mortero

Otro método de aplicación es la proyección de mortero de arcilla en estado fluido, con una manguera conectada a una bomba a alta presión. La proyección se hace directamente sobre la superficie a revestir como si fuera un gutinado, para conseguir una superficie continua de mayor resistencia por metro cuadrado y poco espesor. En este caso, se puede trabajar el revoco de arcilla como un monocapa. Es conveniente realizar pruebas previas, con la boquilla adecuada, para establecer las dosificaciones adecuadas de la mezcla, sobre todo cuando el revoco contiene aditivos. Debe probarse la consistencia del revoco ya que existen sustancias o dimensiones de fibras que tienden a densificar la mezcla, en un determinado periodo de tiempo. Según la fluidez de la amasada, puede generar dificultades durante la ejecución de la proyección, lo usual es que se atasque la boquilla (Foto 6.6)



Foto 6.6: Técnica de proyección de mortero de arcilla sobre superficie de tapia y sobre balas de paja

(Fuente: <http://www.caneloproject.com/>)

- Criterios de diseño y tipos de acabado

Las diferentes capas de revocos pueden cumplir diferentes funciones y tener propiedades específicas, condicionadas por los componentes de la dosificación, como ha quedado expresado en el apartado 6.1 de este mismo capítulo. Las diversas soluciones constructivas del revestimiento con revocos de arcilla pueden aplicarse, a su vez, a distintos tipos de soportes, con características materiales muy diferentes. En este trabajo de investigación se pretende demostrar que los morteros de arcilla predosificados pueden ser el producto adecuado para conformar el revoco de cualquier tipo de muro, atendiendo a diferentes criterios constructivos, de diseño o condiciones ambientales, también ya justificadas.

Para ello, de todos los posibles criterios de diseño y acabados, se plantea el estudio de algunas propuestas de revocos sobre diferentes tipos de muros. Se pretende demostrar que para sistemas constructivos variados es de aplicación de solución de revocos de arcilla. En los esquemas gráficos de las figuras 6.1 y 6.2, se proponen soluciones de revocos, que justifican el planteamiento de caracterización y fase experimental de esta investigación. Se describen opciones de revocos para soportes de tapia (tierra cruda), mampostería de sillares (piedra natural) o fábrica de ladrillos (material cerámico), con variables posible en la ejecución del revoco: con una sola capa, con capa base más revoco o con las tres capas de revoco sumando la de enlucido. Además, se incluyen soluciones con refuerzo antifisuración mediante malla textil o aplicación de capa fijadora de enlace cuando la superficie presenta poca porosidad.

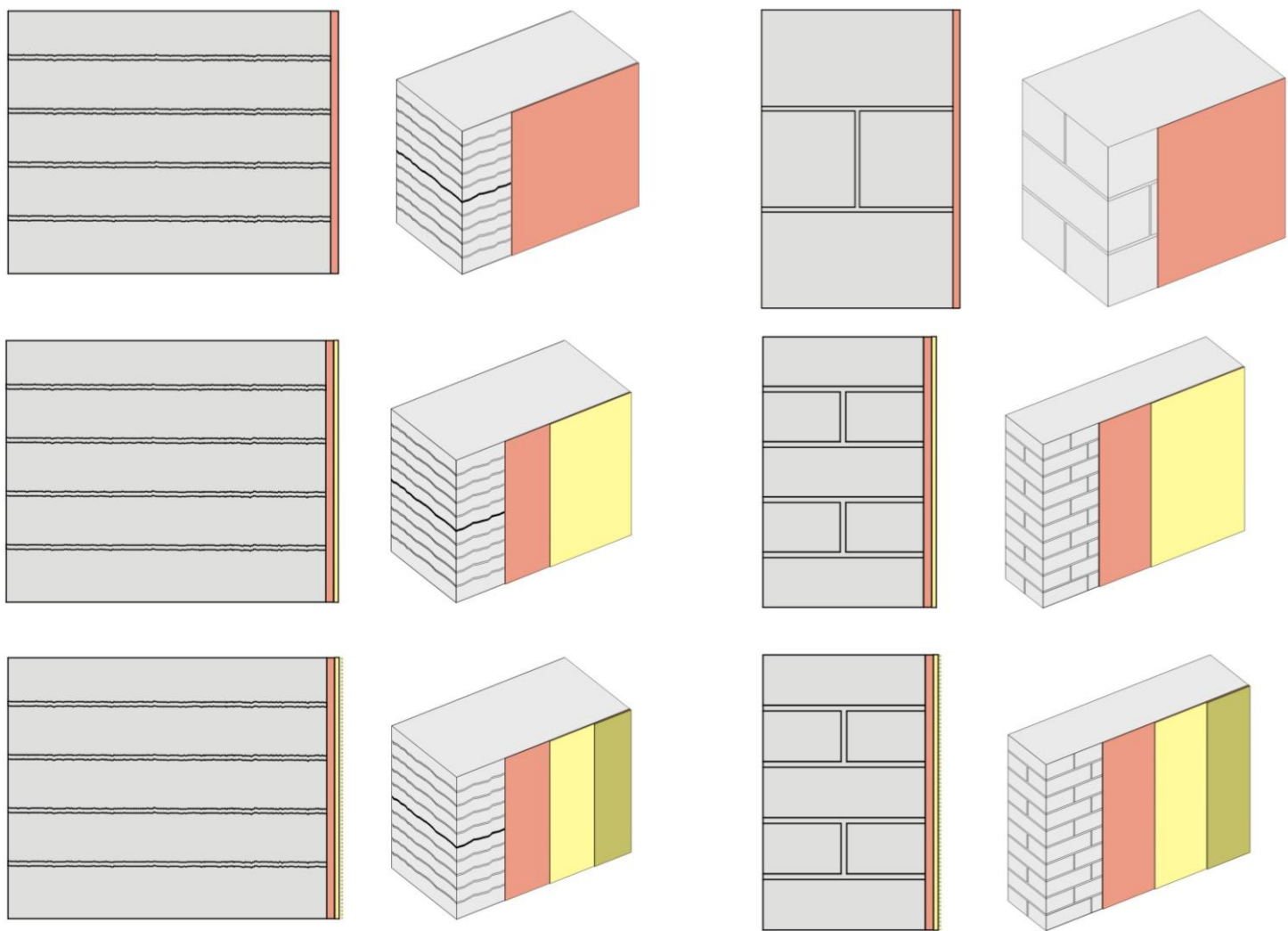


Figura 6.1 : Propuesta de revestimiento con una, dos o tres capas de revoco y/o enlucido sobre muros de tapia, mampostería de piedra o fábrica de mampuestos

- Referencia para cada una de las capas de mortero de arcilla, según el orden de ejecución



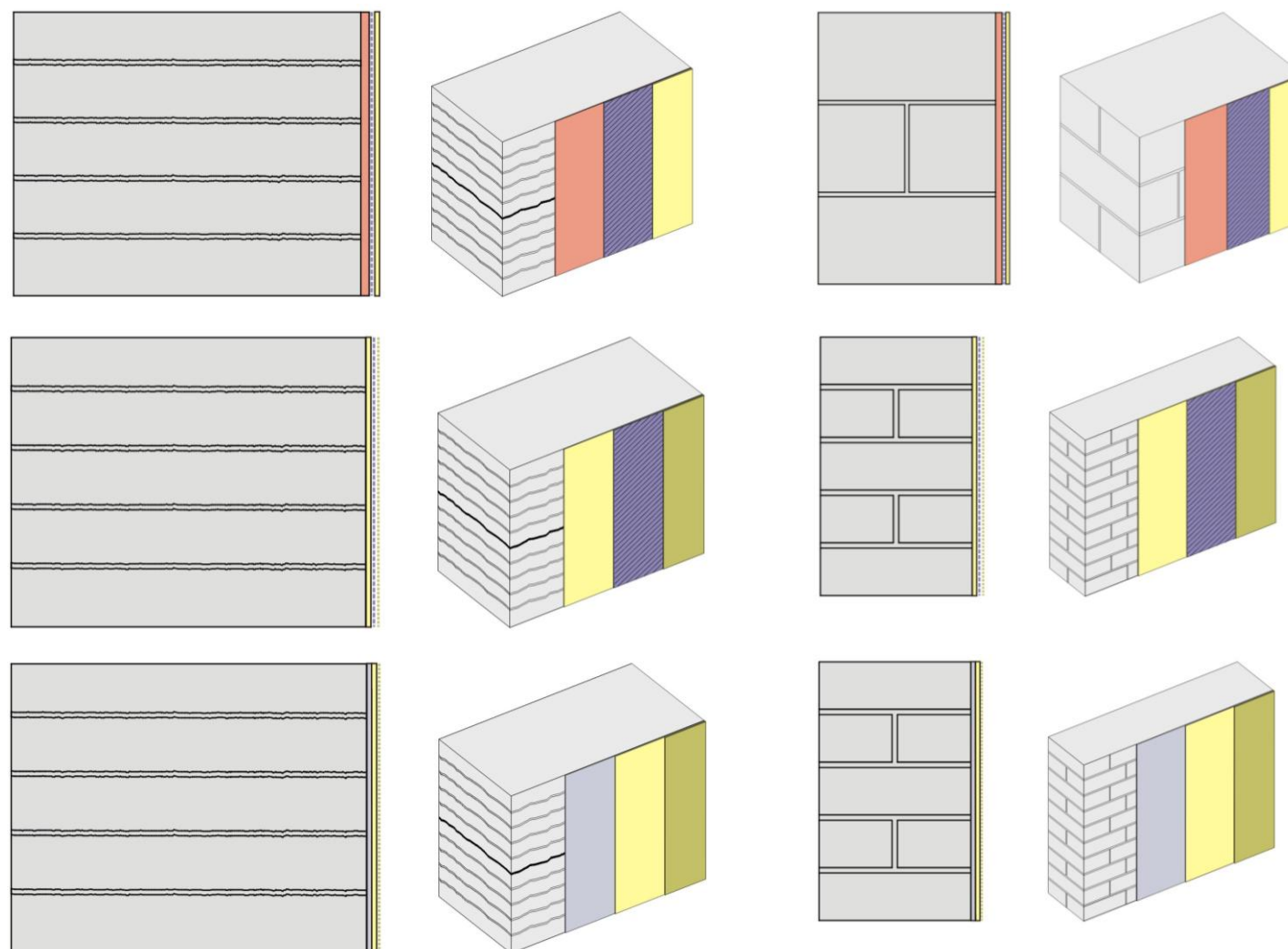
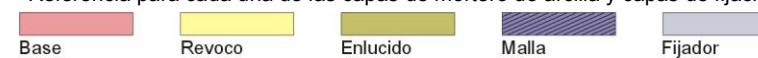


Figura 6.2 : Propuesta de revestimiento con dos de revoco y/o enlucido sobre muros de tapia, mampostería de piedra o fábrica de mampuestos con la incorporación de refuerzo con malla textil o aplicación de capa fijadora previa de lechada de cal o silicato

- Referencia para cada una de las capas de mortero de arcilla y capas de fijación



Una vez revestido el muro o soporte, los revocos de arcilla pueden tratarse con pinturas de arcilla para resaltar colores o el alisado de la superficie o también mediante encalado con lechada de cal, es decir productos totalmente compatibles con el revestimiento. Deben evitarse las pinturas plásticas o al temple, impermeables al vapor del agua que impediría la correcta permeabilidad del muro. En estancias con alta presencia de vapor de agua, locales húmedos, se debe emplear, dentro de lo posible, un tratamiento impermeabilizante natural sobre el revoco (Ver tabla 5.4 capítulo 5 Revestimientos continuos naturales)

6.5.- RELACIÓN ENTRE SÍNTOMA Y TIPO DE LESIÓN O DAÑO EN LOS REVOCOS DE ARCILLA

Todo revestimiento que contenga tierra cruda, y sobre todo los revocos de arcilla, necesitan para mantener sus propiedades y cumplir la función protectora y estética original, estar sometidos a una revisión visual técnica periódica para mantener condiciones óptimas de conservación, al menos cada año.

En Francia, existen reglas profesionales establecidas por la FBB (FBB, 2012), que exigen, tanto a las empresas como a la mano de obra cualificada, la necesidad de control en la ejecución del revoco de arcilla y transfieren al usuario o promotor la obligatoriedad de dar parte a la empresa u operario que ha realizado los trabajos, si se modifica o cambia el aspecto del revestimiento. Se establecen períodos de seguimiento para el buen mantenimiento.

Desde la fase de diseño y ejecución de un revoco de arcilla, es importante recalcar que se debe conservar la misma dosificación para no ocasionar diferenciaciones en la superficie que causen un impacto visual negativo, cambio de color o de textura. Por ello, no siempre se ejecuta correctamente la preparación y aplicación de este tipo de revestimiento, sea por carencia de conocimientos técnicos o porque se actúa mediante legados costumbristas y empíricos.

Se debe controlar la ejecución de las diferentes capas y respetar los tiempos de secado que garanticen la correcta adherencia de una capa con respecto a la siguiente. Como consecuencia de sucesivas aplicaciones incorrectas y formación de diversas capas de revocos superpuestas, normalmente aparecen lesiones o daños que desencadenan afecciones mayores a medio y largo plazo en la superficie de los muros.

El agua, como factor agresivo principal para todo tipo de revoco, incide de forma directa o como humedad provocando serios riesgos de deterioro y lesiones. Se deben plantear mecanismos de protección de las superficies revestidas ya que, a través de la filtración en puntos mal resueltos de la obra, bien por escurrimientos superficiales o la humedad que puede aparecer por succión capilar, los revocos de arcilla son la piel sensible que primero se afecta.

Los puntos singulares a tener en cuenta en la conservación y mantenimiento de los revocos son los tramos de superficies horizontales que puede tener el soporte o muro; deben quedar perfectamente protegidos de la meteorización por aporte directo de agua. (FFB, 2012)

Con frecuencia uno de los principales síntomas de falta de compatibilidad entre el revoco y el soporte se presenta cuando el muro está compuesto por materiales diferentes, por causa de refuerzos o varias intervenciones en el edificio. Existen puntos conflictivos donde se encuentran varias soluciones constructivas que mezclan muros de tierra, ladrillos, restos de rellenos o perfilera metálica además de elementos de hormigón armado; a lo que hay que sumar el trazado de instalaciones que se rellenan con morteros incompatibles.

El contenido de este apartado abarca un campo de estudio extenso, que exige profundizar en especificaciones y descripciones, donde lo importante es analizar el síntoma de la lesión, estudiar la causa que puede ser el origen del daño, evaluar la evolución de la lesión y establecer los criterios de intervención para la subsanación de la misma y/o el mantenimiento para su conservación.

Por lo tanto, como no es cometido de esta investigación resolver, de forma prolija, estas cuestiones se hace un resumen de los síntomas de lesiones más comunes en los revocos de arcilla. De esta forma, en la tabla 6.3, se diferencian tanto lesiones como síntomas para establecer criterios de análisis de las causas que han provocado su manifestación o aparición y marcar la jerarquización según la gravedad del problema.

Tabla 6.3

SINTOMATOLOGIA DE LESIONES en REVOCOS DE ARCILLA y CAUSAS APARENTES					
TIPO DE LESIÓN	CAUSA		DENOMINACIÓN DEL SÍNTOMA	JERARQUIZACIÓN DE LA LESIÓN	POSIBLE CAUSA
Física	Humedad	Contaminación ambiental	Manchas superficiales		Condensaciones interiores Humedades de capilaridad
			Costras, depósitos superficiales	Leve superficial	Desarrollo de microorganismos bióticos: líquenes musgos
			Presencia y desarrollo de plantas	Erosiva Rotura	Enraizamiento superficial de plantas= fisuras Desarrollo de vegetación = desprendimientos y grietas
			Abombamiento		Falta de adherencia a base soporte
		Pérdida de masa	Erosión superficial	localizada	Falta de protección y secado Falta de adherencia a base soporte Incorrecta ejecución en la aplicación
			Erosión con pérdida de masa	localizada	Falta de protección Falta de adherencia a base soporte
			Meteorización	general	Falta de protección y cohesión
			Disgregación	localizada	Falta de protección y cohesión
Mecánica	Rotura	Fisura	localizada		Retracción por secado Falta de adherencia a base soporte
			generalizada		Falta de control en la dosificación del mortero Incorrecta ejecución en la aplicación Falta de resistencia mecánica
		Grieta	localizada		Deformación de la base soporte
			generalizada		Falta de resistencia mecánica Falta de adherencia a base soporte
					Movimientos estructurales

7 – PROCEDIMIENTO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS REVOCOS DE ARCILLA PREPARADOS

7.1- CARACTERIZACIÓN DE MORTEROS DE ARCILLA PREPARADOS

En el ámbito de la construcción es necesario difundir las propiedades y características de los morteros de arcillas ya que, como se ha expresado en capítulos anteriores, es un campo poco investigado en nuestro país. Para el desarrollo del conocimiento del producto, desde el diseño de la fase experimental de este trabajo, se planifica establecer estrategias de estudio, de evaluación de sus principales características y aplicar criterios de desarrollo del producto al adoptar como referencias las disposiciones normativas vigentes actuales, dentro del ámbito español.

Los requisitos establecidos por las normas UNE específicas¹ que desarrollan prescripciones y requerimientos en cuanto a la caracterización y control de calidad de los morteros de albañilería destinados a revocos y enlucidos, son los que se emplean como instrumento guía. En el caso de aquellos productos que se consideran de construcción tradicional y que no cumplan con las exigencias de las normas UNE-EN correspondientes, el marcado CE no es viable y, por lo tanto, no podrán distribuirse en el mercado con las mismas pautas de comercialización que los que cumplan las exigencias esenciales marcadas por el Reglamento Europeo de Productos de Construcción, tal como se ha comentado en el apartado 3.4 del capítulo 3 de este trabajo. Así pues, se considera que esta restricción podrá ser suficiente en el momento de estimar las posibilidades comerciales de los morteros de arcilla frente al resto de productos evaluados.

Los ensayos de Laboratorio se establecen según las indicaciones a partir de las normas UNE-EN 998-1:2010 y UNE-EN-1015, con todas las demás normas UNE partes de esta última, que describen ensayos específicos para morteros de revoco y enlucido y utilizan la primera como referencia. Estas normas se reflejan en los diferentes ensayos, que analizan las variables que afectan a los morteros de arcilla empleados, sobre todo en cuestiones tan significativas como la influencia de las variaciones de humedad ambiente y la temperatura en la preparación de la masa que condicionan la respuesta de este material en concreto (Barbeta, 2002) y que inexorablemente están ligadas al proceso constructivo de la propia obra. Estas variantes deben tenerse en cuenta para poder establecer el grado de influencia de ciertos parámetros de distorsión que se manifiestan entre los valores obtenidos dentro de un ámbito controlado y los que constituyen la realidad de la obra ejecutada.

Las propiedades de los morteros para revoco y enlucido dependen, especialmente, de sus dosificaciones y del tipo de conglomerantes usados en su masa. A partir de la naturaleza de los áridos, del tipo de aditivos y/o adiciones empleados en su fabricación se pueden obtener

¹ En concreto la UNE-EN 998-1:2010 Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido es la última versión de norma UNE específica para morteros de albañilería para revestimientos con conglomerantes hidráulicos y cal aérea.

propiedades especiales de estos productos. Para acometer esta fase de experimentación, se ha seleccionado una variedad de morteros de arcilla preparados que se comercializa en el mercado español dentro de lo que se designa como grupo de materiales naturales. Actualmente, la **concentración** de las explotaciones en la provincia de Teruel, con la presencia y el desarrollo realizado por la empresa Ecoclay (de Minera Sabater) con los morteros de arcilla, la transforman en empresa impulsora a nivel nacional en este tipo de productos y justifica la representatividad que tienen los morteros de arcilla elegidos.

Las arcillas seleccionadas para los morteros de arcilla de la empresa Ecoclay presentan diferentes características mineralógicas y de color, aunque todas se extraen de la misma cantera. Los productos que ofrecen son morteros de arcilla preparados y predosificados para su aplicación como revoco y/o enlucidos. Concretamente se selecciona un mortero base con fibra de paja, destinado para enfoscado o capa de revoco base de muros y otros morteros que, tanto valen para revoco como para la capa de acabado o enlucido, elaborados con arcillas de diferentes coloraciones y áridos de similar granulometría, mediante la trituración de la tierra original de cantera.

Esta empresa cuenta una gama cromática de 12 colores para los morteros preparados (Foto 7.1). Para programar y ordenar la fase de experimentación se codifican estos 12 colores de morteros preparados, en base a las tres gradaciones de colores principales disponibles y se denominan de la siguiente forma: como “**A**” se clasifican los morteros amarillos, como “**G**” los grises y como “**R**” los rojizos. A su vez, se agrupan las cuatro variedades de tonos de cada uno de los tipos (**A, G y R**) y se numeran del 1 al 4 por gradación cromática, de más oscuros a más claros. Esta es la designación, que en adelante, se utilizará para mencionar alguno de los morteros.

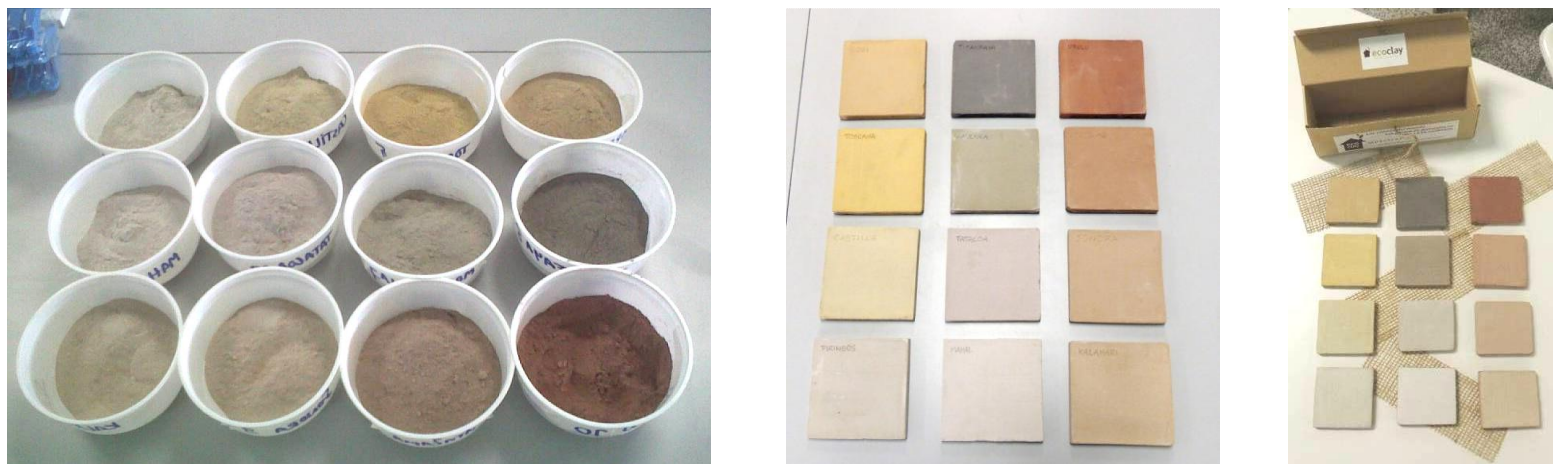


Foto 7.1: Muestras de los 12 colores de morteros de arcilla de Ecoclay en polvo y en probetas formato placas, con sus respectivas muestras de pinturas de arcilla

Como se detalla en la Tabla 7.1, además de los morteros de colores, se estudia el mortero base fibra que esta dosificado con la mezcla de varios tipos de arcillas y paja como elemento de fibra en su composición, definiéndolo como mortero **BF**.

Tabla 7.1

CODIFICACIÓN DEL MORTERO BASE FIBRA + MORTEROS DE ARCILLAS DE 12 COLORES													
Base Fibra		Amarillos				Grisés				Rojizos			
BF		A1	A2	A3	A4	G1	G2	G3	G4	R1	R2	R3	R4

A partir de esta escala cromática, se hace el análisis de los componentes de cada tipo de mortero y se evalúan los parámetros que permiten realizar una comparativa de relevancia. Con los datos mineralógicos de las diferentes arcillas se pueden identificar variables de estudio en cuanto a componentes de minerales dominantes en cada una y, aunque se extraen de la misma cantera, el poder obtener diversas coloraciones permite hacer una selección discriminando los valores obtenidos y así optimizar los tipos de morteros para la fase de ensayos.

La empresa Ecoclay dispone de una tabla de datos que permite conocer la mineralogía de los diferentes morteros de arcilla que dosifica, donde se reflejan las granulometrías de los áridos empleados y las composiciones correspondientes a cada uno de los doce (12) tipos de morteros. Esta información se ordena en las tablas de datos de productos en el documento ANEXO de este trabajo de investigación.

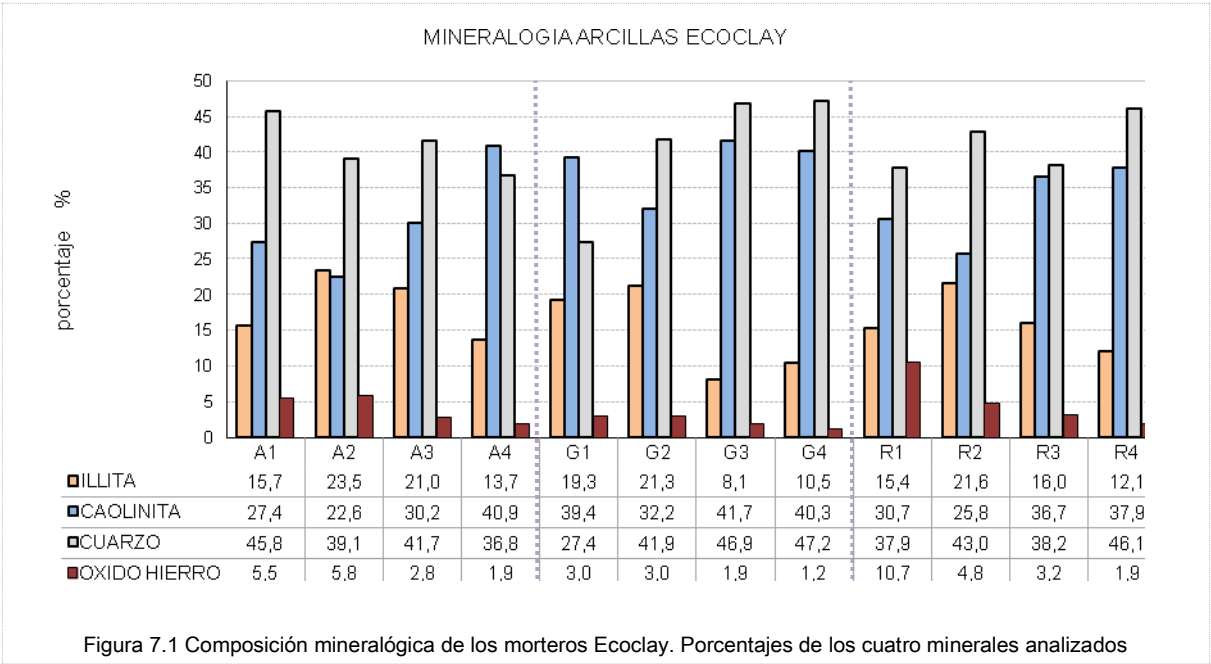
Mediante el análisis mineralógico se establece un filtrado de los doce tipos de morteros en estado seco para la selección de las dosificaciones más notables, en particular, para la fase de experimentación de este trabajo. Además, para cada mortero se relaciona la composición de minerales con la granulometría de los áridos, lo que permite constatar que el máximo grano no debe ser superior a la mitad del espesor de la capa de revoco, que a su vez debe oscilar entre los 10 y 2 mm como máximo. Estos requisitos permiten una correcta trabajabilidad con la llana durante su aplicación y deben tenerse en cuenta para que el mortero no pese y pierda adherencia al soporte.

De los datos obtenidos del análisis mineralógico se conoce el contenido porcentual de illita, caolinita y de óxido de hierro y cuarzo de todos los morteros de arcilla. Ecoclay utiliza las arcillas que no contienen montmorillonita, descarta este mineral por ser muy absorbente y provocar contracciones con facilidad que provocan fisuraciones en morteros de este tipo. Se debe tener en cuenta que pequeñas modificaciones en la

mineralogía de las arcillas suponen cambios significativos en sus aplicaciones y, por lo tanto, condicionan su respuesta en los morteros, el porcentaje de agua que se debe agregar en su preparación o el tipo y cantidad de aditivos que pueda contener la mezcla.

La composición mineralógica de los morteros sirve para determinar cuáles de las doce dosificaciones son las más representativas del conjunto por el tipo de mineral predominante y considerar cuales podrían ser las más adecuadas para justificar el conjunto de pruebas experimentales de caracterización. Se pretende establecer si esa diferencia mineralógica es suficiente para detectar comportamientos diferenciales.

En la figura 7.1 se describe el rango general de análisis de los doce (12) morteros, singularizando los tres minerales principales: illita, caolinita y óxido de hierro y cuarzo.



Como primer indicio, se detecta que en los morteros donde la presencia de alguno de estos minerales tiene mayor valor que en las demás, corresponden en concreto a los morteros que emplean en su dosificación arcillas sin mezclas, son preparados más puros que contienen materia prima obtenida directamente de cantera.

Para hacer la clasificación se establece la pauta de analizar los valores mínimos, medios y máximos de los cuatro componentes, lo que en definitiva define la selección de los tres morteros expresados en la tabla 7.2. Por lo tanto, los tres morteros que se seleccionan, para la caracterización de los morteros de arcilla y fase experimental de este trabajo de investigación, resultan ser los que tienen mayor porcentaje de alguno de los minerales en su dosificación, que se muestra como el componente predominante, tal como queda definido con los valores que se resaltan en la misma tabla. En adelante, los tres morteros de arcilla se denominarán con la designación preestablecida: **A2** (arcillas amarillas), **G4** (arcillas grises) y **R1** (arcillas rojizas), incluyendo el **BF** (base fibra) ya descrito.

Tabla 7.2

CLASIFICACIÓN DE MORTEROS SELECCIONADOS SEGÚN SU MINERALOGÍA			
minerales	morteros de arcilla		
	A2	G4	R1
illita	23,5 % (máximo)	10,5 % (mínimo – 0,5 de A2)	12,1 % (medio)
caolinita	22,6 % (mínimo – 0,5 de G4)	40,3 % (máximo)	30,7 % (medio)
cuarzo	39,1 % (normal)	47,2 % (normal)	37,9 % (normal)
óxido de hierro	5,8 % (medio)	1,2 % (mínimo)	10,7 % (máximo)

7.2.- DISEÑO DE DOSIFICACIONES PARA REALIZAR LOS ENSAYOS

Al establecer el criterio de evaluación del contenido tanto de illita, de caolinita, de óxido de hierro como de cuarzo en todos los morteros, las variables indican por qué estos tres minerales prevalecen sobre los otros y en qué tipo de mortero. La selección permite precisar un mortero de cada familia de colores principales – amarillo, gris y rojo-. A partir de esta observación, quedan definidos para el trabajo experimental, los cuatro morteros de arcilla más representativos de la diversidad que comercializa Ecoclay.

En la Foto 7.2 se aprecia el mortero base fibra, en adelante **BF**, como mortero base que sirve para la realización de la capa de enfoscado sobre cualquier tipo de soporte y los tres tipos de morteros de acabado, uno de cada color. Para estos últimos, cabe destacar una vez más, que según los datos facilitados por la empresa, son morteros de arcillas totalmente puras, sin mezclas, sin combinaciones con otro tipo de arcillas en la

dosificación para conseguir el color que presentan. En la Foto 7.3 se presentan los morteros preparados para las masadas de las diferentes muestras.



Foto 7.2: Muestras en polvo de los 4 morteros de arcilla seleccionados: BF, A2, G4 y R1.



Foto 7.3: Muestras de masa de morteros humedecida para utilizar: A2, G4 y R1.

A partir de la selección de estos morteros patrón, se diseñan las diferentes dosificaciones para todos los ensayos a realizar. Básicamente se mantienen el mortero BF, A2, G4 y R1 sin aditivos con mezcla original de mortero preparado y, además, para los tres morteros -A2, G4 y R1- se establecen otras dosificaciones en las que se emplean aditivos con diferentes tipos de cales (aérea e hidráulica), y con cemento para configurar toda la fase experimental de la investigación.

La determinación del número y tipo de morteros definitivos posibilita una de las cuestiones más importantes en este tipo de trabajo de caracterización que es la posibilidad de definir las dosificaciones totales y establecer, en el caso de los morteros con aditivo, qué porcentajes de conglomerante tendrán las diferentes amasadas. De esta forma se tiene controlada la edad de las probetas que se van a fabricar y se establece el plan de ensayos de manera rigurosa en el tiempo.

Se decide emplear como aditivo los tres tipos de cales que se contemplan en la normativa para revocos y enlucidos: cal aérea (CL-90), cal hidráulica (HL-3.5) y cal en pasta (SPL-90)². Cada una de las cales se dosifica en diferentes proporciones en cada uno de los morteros de arcilla preparados y seleccionados, de esta forma se establecen al menos tres dosificaciones comparables para cada uno de ellos. Las proporciones elegidas se corresponden con los valores extremos (máximo y mínimo) y medio de uso común en la construcción para verificar su incidencia en la masa de mortero y sus valores característicos resultantes.

² Especificaciones de designación de cales según la clasificación en norma UNE EN-459-1: 2011. Cales para la construcción. Parte1:Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad

Para ello, se toma como referencia las dosificaciones estándares para revestimientos con cal que establece ANCADE - Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España - y se definen con las proporciones 1:8, 1:6 y 1:3 (ANCADE, 2012). En consecuencia, se establecen las proporciones de 4,12 y 20 % de dosificación de tipo de cal en el volumen total de la masa de cada uno de tres los morteros a emplear.

Como parámetro de comparación de los valores que se obtengan, además de las dosificaciones que solo contienen cales se harán amasadas con una proporción de cemento portland CEM II/B-L 32,5 N, que se diseñan de manera que una de ellas contiene solo cemento y otra cemento y cal aérea, para obtener un mortero tipo bastardo. Estas dosificaciones se planifican para verificar el comportamiento de la mezcla de arcillas puras con un conglomerante de tipo industrial, tan extendido en la ejecución de obra actual y que frecuentemente es utilizado como material para revestimientos. Las dosificaciones de estas últimas mezclas también se definen en la proporción habitual que se utiliza en construcción para los morteros de cemento para enfoscados y revocos (ANCADE, 2012), es decir, relación 1:6³ para la mezcla de mortero de arcilla + cemento (lo que correspondería aproximadamente a un 12% de aditivo en el volumen total de la masa). Para el mortero bastardo, se determina la dosificación de 1:1:6 (cemento 12% + cal aérea 12% + áridos).

Por lo tanto, teniendo en cuenta estas premisas se ensayarán un total de doce (12) tipo de dosificaciones por cada mortero y color (A2, G4 y R1), lo que se traduce en treinta y seis (36) amasadas diferentes que sumadas al mortero base fibra BF configura un total de treinta y siete amasadas (37) para caracterizar y analizar. Con el objeto de ordenar y sistematizar el trabajo se establece un código de identificación de cada una de las treinta y siete (37) amasadas según la dosificación que la compone.

³ Las dosificaciones que se definen como estándares para la adición de cemento portland para morteros estabilizados o los denominados morteros de cemento + áridos son las de 1:6, 1:4 o 1:3 según el uso y la función que deba cumplir el revestimiento y para morteros bastardos o morteros mixtos de cal + cemento + áridos son 1:1:6 o 1:2:9. Estas formulaciones dadas como referencia tanto en el CTE como en las reglamentaciones de uso de morteros para la construcción, tanto de cemento como de cal, de AFAM -Asociación Fabricantes de Morteros- y ANCADE -Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España) también se definen basadas en la experiencia de la autora como docente y profesional en ejecución de obras.

En la Tabla 7.3 se detallan las dosificaciones diseñadas para desarrollar la fase experimental con su correspondiente código de designación para todos los ensayos, cuyas siglas se utilizarán en frente de la siguiente forma:

Tabla 7.3

Dosificaciones y designaciones de los morteros para las diferentes amasadas				
Morteros preparados sin y con aditivos		Color de arcillas del mortero		
		Amarillas	Grises	Rojas
Tierra sola		A2	G4	R1
Tipo aditivo para cada una de las amasadas	cal aérea CL	A2 CL 4	G4 CL 4	R1 CL 4
		A2 CL 12	G4 CL 12	R1 CL 12
		A2 CL 20	G4 CL 20	R1 CL 20
	cal hidráulica HL	A2 HL 4	G4 HL 4	R1 HL 4
		A2 HL 12	G4 HL 12	R1 HL 12
		A2 HL 20	G4 HL 20	R1 HL 20
	cal en pasta SPL	A2 SPL 4	G4 SPL 4	R1 SPL 4
		A2 SPL 12	G4 SPL 12	R1 SPL 12
		A2 SPL 20	G4 SPL 20	R1 SPL 20
	cemento	A2 CEM	G4 CEM	R1 CEM
	bastardo	A2 CEM CL	G4 CEM CL	R1 CEM CL
	base fibra	BF		

7.3.- PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y DISEÑO PROBETAS

Las **disposiciones de procedimiento** de preparación de los morteros especificados por el **fabricante** se consideran indispensables para la elaboración, la aplicación y mantenimiento de las muestras respetando las características del producto, por eso, hay que tener en cuenta que, este tipo de mortero, debe dosificar con agua limpia, potable. Las arcillas deben impregnarse de agua intersticial para que la humectación sea la adecuada y esto debe hacerse en reposo para evitar la rotura de las fuerzas de Van der Waals, es decir que las moléculas de las arcillas tiendan a separarse, por eso deben prepararse las amasadas con antelación **a su aplicación**. El periodo de trabajabilidad de estos morteros es mucho más amplio que los que pueden tener los que, por su composición, actúan por reacción química durante el fraguado, como es el caso de las dosificaciones que tienen aditivos de cemento o los de cemento y cal donde se produce un endurecimiento más o menos rápido, en pocos minutos.

7.3.1-Preparación de muestras

Los morteros para las muestras de las distintas dosificaciones utilizadas en la fase experimental, se preparan considerando las instrucciones y condiciones de elaboración especificadas por el fabricante para la puesta en obra del mortero. Los morteros de arcilla preparados deben elaborarse con un porcentaje de agua que corresponde un porcentaje variable $24 \% \pm 2 \%$ del peso total de mortero que se vaya a utilizar, dependiendo de las condiciones climatológicas (temperatura y humedad relativa del ambiente) del momento en se aplique en obra.

Para que el rendimiento sea como especifica Ecoclay de 1,4 (Kg/m² x mm) se mantiene el criterio de la norma UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007 de preparación de muestras con un volumen total de 1,5 veces la cantidad necesaria para el ensayo.

El método de preparación de los morteros de arcilla precisa un tiempo de reposo entre la fabricación de la amasada y la aplicación como muestra o para realizar probetas, lo que resulta aconsejable para mejorar la consistencia del mismo (FBB, 2012). En el caso concreto de los morteros que se emplean en este trabajo de investigación, es el fabricante el que indica, en el etiquetado del producto, que es conveniente humedecer el mortero como mínimo tres horas (3h) antes de su utilización. Es adecuado y recomendable dejar la mezcla preparada y humedecida hasta 24 horas previas a su uso, es decir, si un día antes de la aplicación directa sobre el muro se hace la preparación de la masa para dejarla en reposo se optimizan sus características y es fundamental para conseguir la mejora de sus propiedades, sobre todo de la plasticidad.

Por lo tanto, para las dosificaciones de morteros de arcilla que tienen los aditivos identificados como CEM y CEMCL, no pueden seguirse las pautas de humectación y reposo y serán de aplicación las especificaciones establecidas en las norma UNE-EN 1015-2, Para estas amasadas, se considera que las mezclas se utilizan como mínimo 10 minutos después de añadir el agua correspondiente y se prepara el mortero, preferentemente, para mantener su periodo de trabajabilidad durante 30 minutos una vez terminado el amasado ya que, comienza el proceso de fraguado del cemento.

7.3.2-Diseño y preparación de probetas

Una vez seleccionados los principales morteros con los que se realizarán las pruebas, se hace una revisión de los formatos de probetas según normativa y se adaptan a cada prueba para la caracterización del producto. Se planifican, por lo tanto, diferentes tipos y cantidades de probetas

de acuerdo a las series de ensayos previstas para los morteros en estado endurecido, según se detalla en la Tabla 7.4, ya que los ensayos con mortero en estado fresco se realizan con la mezcla en pasta. Para toda la fase de experimentación se emplean los recursos y equipamiento disponibles en el Laboratorio de Construcción Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Tabla 7.4

TIPOLOGIAS DE PROBETAS PARA ENSAYOS CON MORTERO EN ESTADO ENDURECIDO								
FORMATO DE PROBETA								
A					B		C	D
Prismática 40 x 40 x 160 mm					Circular Ø 160 mm		Circular Ø 60 mm	Muestra de 300 x 300 mm
Estabilidad dimensional	Absorción por capilaridad	Compacidad: medición por ultrasonido	Resistencia a flexotracción	Resistencia a compresión	Permeabilidad al vapor de agua	Durabilidad. Resistencia a la intemperie	Colorimetría y pruebas de campo	Resistencia adhesión a diferentes soportes
ENSAYOS PLANIFICADOS								

A continuación se especifica para cada tipología de probeta, los aspectos generales y las cuestiones particulares que se adoptan para ajustar los ensayos al procedimiento experimental:

A. **Probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm:** se preparan según las normas UNE EN 1015-2:1999⁴, UNE-EN 1015-3:2000/05⁵ y UNE-EN 1015-11:2000⁶. Se utilizan moldes metálicos normalizados desmontables en los que se pueden preparar tres probetas simultáneamente que cumplen con las exigencias de la norma UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007 (Anexo A) y UNE-EN 196-1: 2005⁷.

La cantidad de probetas necesarias y el tiempo de fabricación se programan, tomando como dato de partida la cantidad de materia prima necesaria para una correcta dosificación por unidad. Se suma la preparación de las mezclas de acuerdo a las dosificaciones de las amasadas diseñadas previamente, el procedimiento de rellenado de los moldes, el periodo de desmolde y correspondiente tiempo y forma de curado. Todo, en definitiva, para poder determinar la cantidad de piezas del mismo formato que puedan ser empleadas en un

⁴ UNE EN 1015-2:1999.A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo

⁵ UNE-EN 1015-3:2000. A2:2007 Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).

⁶ UNE-EN 1015-11:2000.A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.

⁷ UNE-EN 196-1: 2005 Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.

solo ensayo, si es destructivo, o en varios que deban realizarse consecutivamente, teniendo en cuenta que no hay destrucción previa de la probeta hasta el ensayo final. En definitiva, se preparan las probetas necesarias en una única amasada. A modo de ejemplo, para el ensayo de absorción por capilaridad se realizan todas las probetas prismáticas de un mismo tipo de dosificación para los tres tipos de colores de morteros, específicamente para esta prueba

Las probetas que contengan las dosificaciones de los morteros con aditivos se fabrican con diferente procedimiento de moldeo en función del tipo de conglomerante según se describe en la norma UNE-EN 1015-11:2000, metodología que se emplea también para las probetas de morteros de arcilla. Cuando las dosificaciones de morteros contengan conglomerantes hidráulicos cuyo volumen no supere al 50% de la masa total de mortero, se deben preparar relleno el molde en dos capas aproximadamente iguales, cada tongada se compacta con 25 golpes con el pisón metálico de sección cuadrada de 12 mm de lado. (Foto 7.4)



Foto 7.4: Proceso de fabricación de probetas prismáticas en moldes metálicos para 3 probetas. Moldeado en dos tongadas compactadas con pisón metálico, conservación durante 5 días embolsadas y desmoldado a los 7 días, para su curado sobre parrillas elevadas sobre base de apoyo.

En la misma norma se hace una diferenciación del procedimiento para la fabricación de probetas cuando contienen conglomerante de cal aérea. En estos casos se debe utilizar un proceso diferente y más complejo que cuando se emplea el resto de conglomerantes para fabricar las probetas. El molde se debe montar sobre una placa de vidrio o metacrilato de 2 mm de espesor sobre la que se colocan dos capas de gasa de algodón blanco seco. A continuación el molde se rellena con la masa de mortero con la misma operatoria por tongadas compactadas descrita en el párrafo anterior. Seguidamente se elimina el exceso de mortero de la cara superior del molde y se enrasa para nivelar y obtener una

superficie del mortero plana. Se colocan dos capas de gasa de algodón blanco seco sobre la superficie del mortero, y a estas se le colocan encima las capas de filtro absorbente con un coeficiente de absorción de agua de 160 g/m^2 . El papel de filtro absorbente se cubre con otra placa de placa de vidrio o metacrilato de 2 mm de espesor en la parte superior del molde.

A continuación se invierte todo el molde manteniendo firmemente las dos placas de metacrilato, inferior y superior, contra el molde. Una vez que el molde esta con su parte inferior hacia arriba, se retira cuidadosamente la placa de metacrilato, se colocan las capas de papel de filtro absorbente sobre la gasa descubierta que se había colocado al principio. Se vuelve a poner la placa de metacrilato y se pone el molde en su posición original sobre una base firme y fija. El molde debe mantenerse en estas condiciones durante 3 horas, para lo que se aplica una carga de aproximadamente 5 kg en la parte superior. (Fotos 7.5 y 7.6)

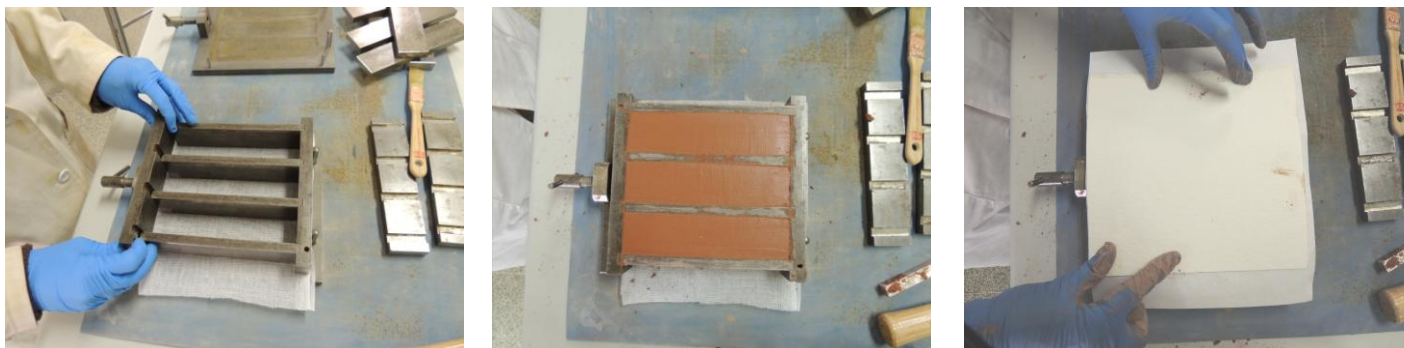


Foto 7.5: Proceso de fabricación de probetas prismáticas para dosificaciones con aditivos de cal aérea (CL y SPL): deben intercalarse entre las probetas y el molde una capa de gasa de algodón, papel secante y placa de metacrilato.

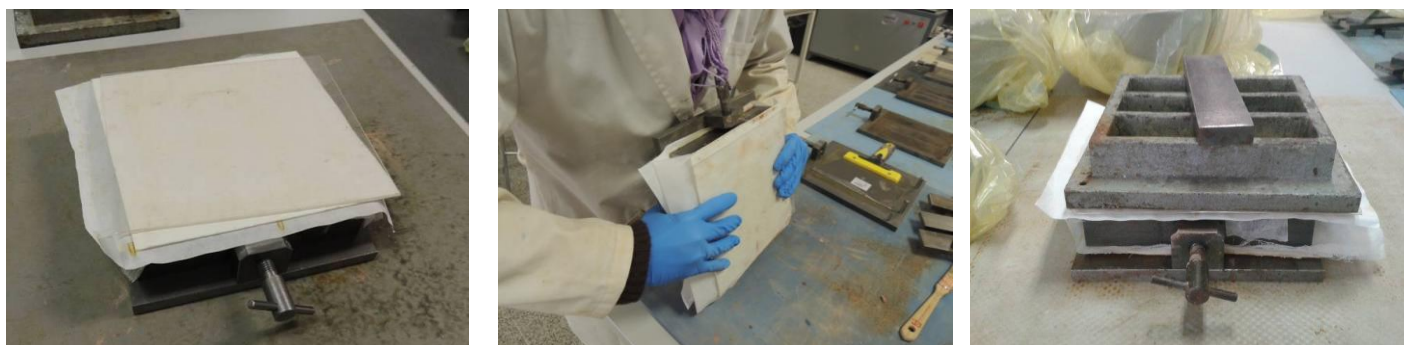


Foto 7.6: Después de la preparación de una cara del molde hay que girarlo para preparar la cara opuesta y dejar las probetas fraguar durante 3hs.

Una vez transcurridas las 3 horas, se retiran la carga, la placa, el papel de filtro absorbente y la gasa de la parte superior. Se coloca nuevamente la placa de metacrilato en su sitio y se invierte el molde, manteniendo firmemente las placas de ambos lados. Posteriormente se repite el procedimiento extrayendo placa, filtro absorbente y la gasa de la parte inferior y se cubre el molde con una bolsa de polietileno para la conservación de las probetas y curado durante los primeros 7 días a un $95 \pm 5\%$ de humedad. Después de este tiempo se desmoldan las piezas y se almacenan para su curado definitivo los 21 días siguientes en estanterías sobre una parrilla elevada de 10 a 15 mm de las mismas.

En definitiva, el proceso de fabricación de las probetas para los ensayos en estado endurecido se establece según las condiciones que se describen en la Tabla 7.5, marcadas con color, donde se especifican tiempos de conservación, desmolde y curado de las diferentes dosificaciones de morteros según UNE-EN 1015-11:2000⁸, que sirve de referencia para todos los ensayos de este trabajo. Pero se debe destacar que el proceso de fabricación de las probetas prismáticas de morteros que contienen cal aérea como aditivo supera, en aproximadamente un 50% del tiempo total de la propia operatoria de elaboración, al de cualquier otro tipo de dosificación.

Tabla 7.5

Extracto de condiciones de tiempos desmolde y curado para las diferentes dosificaciones de morteros			
CONDICIONES de TIEMPOS DESMOLDE y CURADO UNE-EN 1015-11:2000			
Tipo de mortero	Duración de la conservación a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en días		
	Humedad relativa		
	95% \pm 5% o en bolsa de polietileno		65% \pm 5%
	En el molde	Una vez que se ha retirado del molde	Una vez que se ha retirado del molde
Morteros de cal aérea	5	2	21
Mortero de cal aérea/cemento en los que la masa de cemento no es superior al 50 % de la masa total del conglomerante	5	2	21
Mortero de cemento y de cal aérea/cemento (bastardo) en los que la masa de cal aérea no es superior al 50 % de la masa total del conglomerante	2	5	21
Morteros con otros conglomerantes hidráulicos	2	5	21

⁸ La norma UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros de albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido, en su **apartado 7.3** contiene la Tabla 1 que determina la duración de la conservación de las probetas para morteros de diferentes tipos de cal, de cemento, de cemento y cal y cualquier otro contenido en el mortero de conglomerante hidráulico o retardador de fraguado.

- B. **Probetas cilíndricas de 160 mm de diámetro y 15 mm de espesor:** se elaboran con moldes circulares fabricados específicamente para este ensayo y conseguir la pieza que se describe en las prescripciones de la norma UNE-EN 1015-19:1998. A1 (2005)⁹, utilizada como referencia. Estos moldes se encargan a un herrero y se fabrican con cintas de chapa conformada de acero galvanizado de 1 mm de espesor por 15 mm de ancho soldadas en los extremos después de conformar una anilla circular de 160 mm de diámetro. La forma circular se consigue con la guía de un mandril metálico cilíndrico que el herrero utiliza para la fabricación de todas las anillas. (Foto 7.7).

Los moldes de anillas circulares se colocan sobre bases impermeables, en este caso se emplean planchas metálicas de acero galvanizado o placas de azulejo vitrificado revestidas con una capa de gasa de algodón para evitar la adherencia de la probeta a la base del molde. Se moldean las piezas hasta rellenar completamente la anilla y se enrasa con espátula o regla para uniformar la superficie superior de la probeta. A continuación las piezas se embolsan y se conservan con el mismo proceso de mantenimiento y curado que se describe para las probetas prismáticas en UNE-EN 1015-11:2000, hasta que transcurran los 28 días para la realización del ensayo correspondiente (Ver Tabla 7.5).



Foto 7.7: Probetas cilíndricas de Ø 160 mm moldeadas con anillas metálicas de acero galvanizado

- C. **Probetas cilíndricas de 60 mm de diámetro y 10 mm de espesor:** se elaboran con moldes cilíndricos de acero, que están disponibles en el Laboratorio, de 60 mm de diámetro interior y 70 mm de diámetro exterior y 10 mm de espesor. La pieza se moldea directamente sobre un soporte de apoyo previamente tratado con desencofrante natural para poder despegar la probeta fácilmente una vez seca. (Foto 7.8)

⁹ UNE-EN 1015-19:1999/A1 (2005) Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 19: Determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros para revoco y enlucido

La probeta resultante es una pastilla circular, similar a las que se fabrican a pie de obra, con forma de galletas con los morteros preparados in situ para evaluar el nivel de retracción que presentan al secarse y la dureza o resistencia seca de la pastilla a ser partida en dos partes (Neves, 2009). Esta pruebas de campo se hacen de forma generalizada para comprobar, con un único elemento, la respuesta del mortero de arcilla a la contracción por pérdida de humedad y si la proporción de arcilla y áridos en la dosificación es correcta para garantizar cierta resistencia a la rotura para ser utilizado, además, como revestimiento.

Puesto que la forma de las probetas tiene una dimensión adecuada para la medición de la colorimetría de las diferentes dosificaciones de mortero que se ensayan, se utilizan para distinguir las variaciones que se producen en la coloración del producto cuando lleva o no aditivos.



Foto 7.8: Proceso de fabricación de probetas cilíndricas de Ø 60 mm con anillas metálicas de acero

- D. **Muestras de revocos sobre soportes de aproximadamente 300 x 300 mm:** se diseñan muestras de morteros aplicadas directamente sobre una base soporte, de forma cuadrada o rectangular, con dosificaciones seleccionadas de morteros de arcilla. Estas muestras se colocaran en superficies que se eligen de diferentes materiales: rasillas cerámicas, aplacados de piedra natural calcarenita, baldosas de mortero de cemento y adobes. La elección de estos materiales busca reproducir la variedad real que existe en la conformación de tipos de muros donde se puede aplicar un mortero de arcilla preparado como revestimiento.

Las muestras de mortero se preparan y aplican en el Laboratorio utilizando como base de referencia para el ensayo de resistencia a la adhesión los requerimientos de la UNE 1015-12:2000¹⁰. Se establece que cada muestra debe aplicarse en dos capas: capa de revoco de no más de 3 mm y la capa de acabado de menos de 2 mm de espesor; solo el mortero base fibra (BF) que corresponde al mortero base puede hacerse con grosores entre 5 y 8 mm. Las muestras de mortero se realizan, por una parte, en horizontal sobre placas de aproximadamente 300 x 300 mm de rasillas cerámicas, aplacados de piedra natural tipo calcarenita, baldosas de mortero de cemento y adobes, y por otra se dispone hacer este ensayo sobre una superficie vertical para aplicar muestras de aproximadamente 250 x 300 mm sobre un tabique divisorio interior de paneles de yeso laminado y con acabado con gotelé.

A partir de la muestra, las probetas de las diferentes dosificaciones de mortero seleccionadas se realizan con cinco (5) marcas circulares en la superficie aplicada de mortero (Foto 7.9). Estas marcas circulares permiten la extracción posterior del mortero mediante unas sufrideras adheridas a ellas y con un equipo de tracción, de suficiente capacidad para aplicar una carga de arrancamiento, se determina el valor de resistencia a la adhesión al soporte ensayado.

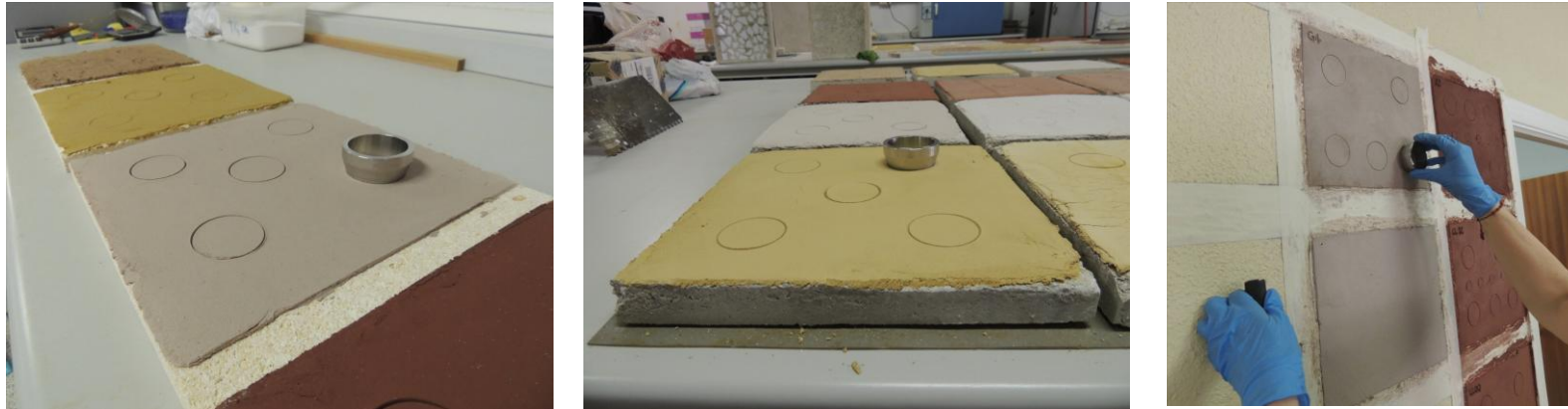


Foto 7.9: Dispositivo circular metálico para marcar las pastillas de Ø 50 mm de diámetro para el posterior arrancamiento y medición del valor de resistencia a la adhesión al soporte. Muestras de morteros aplicadas en diferentes tipos de soportes, en horizontal y vertical, donde se marcan las pastillas de Ø 50 mm.

¹⁰ **UNE 1015-12:2000.** Métodos de ensayo de los morteros de albañilería. Parte 12:Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros para revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes

Este proceso es el que establece la UNE-EN 1015-12:2000, que es para la aplicación de morteros de cemento y de cal, por lo que se siguen las pautas descritas en la norma, y se realizan todas las muestras para todas las dosificaciones de la misma manera y a la vista de los resultados que se obtengan, si es necesario, se planifica diseñar ajustes en la metodología a seguir para poder cuantificar el grado de adherencia de los morteros de arcilla preparados.

7.4.- DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS Y ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN PROPUESTOS

Para llevar a cabo la caracterización de los morteros de arcilla seleccionados con las dosificaciones diseñadas es necesario establecer una serie de pruebas y ensayos que permitan cuantificar las prestaciones que ofrece el producto, determinar propiedades de este tipo de morteros, establecer patrones de comportamiento frente a la humedad y vapor de agua, cambios térmicos, obtener valores de referencia en cuanto a su resistencia mecánica y adherencia a diferentes soportes. Se busca, también, tener elementos de comparación en cuanto al tipo de dosificación más adecuado, la influencia del aporte de aditivos o de un determinado porcentaje de agua, si esto afecta y en qué medida a las propiedades del producto, sus características de servicio y su respuesta en el tiempo como producto de construcción.

7.4.1.- PRUEBAS DE CAMPO

Antes de la realización de un ensayo experimental de Laboratorio, de forma paralela a la preparación de la amasada para la fabricación de las muestras o probetas del mismo, se suelen hacer pruebas de campo, similares a las que normalmente se realizan a pie de obra, que se consideran acciones previas para el estudio de la tierra. De esta manera se estima adecuadamente la dosificación de tierra y áridos a emplear, el nivel de retracción que presenta la mezcla y la cohesión de la masa cuando se la prepara, como en este caso, para mortero de revoco. A continuación, se detallan dos de las pruebas de campo que se establecen para este trabajo:

7.4.1.1.- PRUEBA DE LA BOLA

La prueba de la bola es una prueba que se hace in situ, a pie de obra, que permite evaluar si el contenido de componentes en la dosificación de los morteros de arcilla es la adecuada. Al amasar la mezcla de mortero y agua se hace una bola de unos 50 mm de diámetro que se lanza desde una altura superior a 1 metro y, según como sea el efecto de caída de la misma sobre la superficie que se lanza, se puede estimar el

grado de cohesión de la masa. En este caso para los morteros de arcilla preparados, el porcentaje de agua agregado a la masa para cada tipo de mortero a utilizar, en primera instancia, debe ser el que aconseja el fabricante como dato imprescindible en el momento de la obtención del producto. (Foto 7.10)

Las condiciones de humectación de la masa de cada dosificación de los morteros pueden variar en el proceso de amasado. Al trabajar con arcillas de diferente mineralogía y además usar morteros con diversos tipos de aditivos es de esperar que la prueba de la bola, que se hace para cada uno de ellos, demuestre que el porcentaje de agua necesario debe variar según su composición ya que no siempre se consigue la misma plasticidad para productos con características diferentes. La prueba se hace para verificar cuales serían las variables a tener en cuenta para poder servir de orientación de futuros ensayos de Laboratorio.

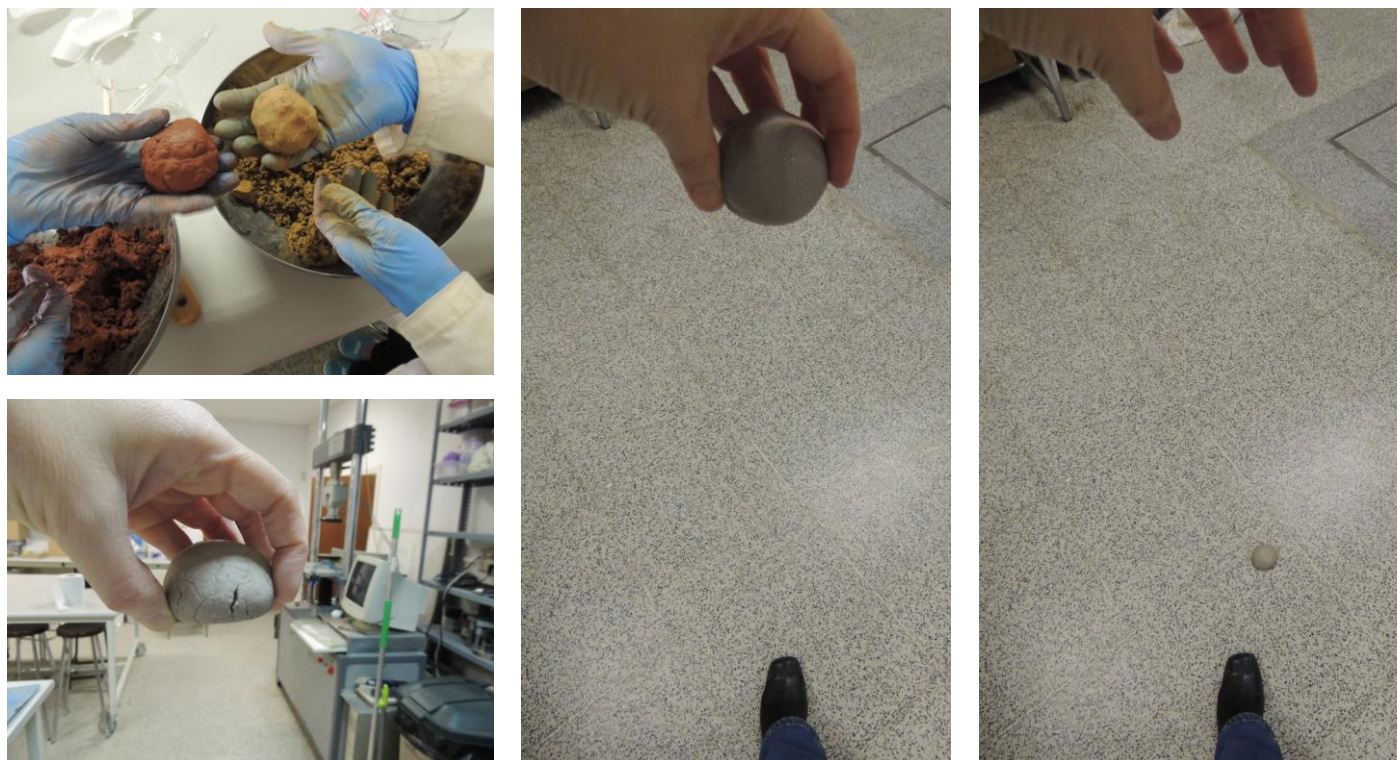




Foto 7.10: Proceso de realización de la prueba de la bola: amasado del mortero, se hace una bola que se lanza a ± 1.5 metros de altura

A continuación se expone, en la Tabla 7.6, una síntesis del proceso de evaluación de la prueba de la bola (Minke, 2001) como referencia para el análisis de amasadas para morteros de arcilla para revocos.

Tabla 7.6

PRUEBA DE LA BOLA		
EVALUACIÓN DE LA CONSISTENCIA DE LA MASA PARA MORTERO DE REVOCO		
RESULTADO DEL LANZAMIENTO	ESTADO DE LA BOLA	INTERPRETACIÓN DEL RESULTADO
- Si la bola se aplasta levemente y no presenta fisuras		- Alto contenido de arcilla o de agua en la masa. - Masa con alta capacidad aglutinante, rebajar la dosificación con arena. - Dejar secar y repetir la prueba.
- Si la bola se aplasta levemente, y muestra fisuras < ½ diámetro		- Proporción adecuada de arcilla y agua en la masa. - Masa con capacidad aglutinante, depende del uso, rebajar con arena.
- Si la bola se rompe y desintegra		- Masa con baja capacidad aglutinante, agregar arcilla o agua. - Repetir la prueba.
- Si la bola se deshace completamente		- Exceso de arena, falta arcilla para aglutinar áridos. No válida.

7.4.1.2.- PRUEBA DE RETRACCIÓN Y RESISTENCIA SECA

La prueba con la que se mide el grado de retracción del mortero, en el proceso de secado, consiste en verificar cuanto contrae la masa dentro de un molde circular durante los dos (2) primeros días. Se realiza con una probeta cilíndrica que se fabrica con moldes circulares de plásticos o metálicos, tipo anillas, de 40 a 60 mm de diámetro y aproximadamente 10 mm de espesor. Además, con estas mismas probetas se puede comprobar la resistencia seca que consiste en verificar el grado de oposición a la rotura de la pieza sometida a flexión de forma manual. Esta última prueba también se realiza a las 48 horas de fabricación de la probeta.

En el caso de la retracción de la probeta dentro del molde durante los 2 días de secado, permite la medición del nivel de contracción de cada una de las dosificaciones de morteros, y si influye que la masa contenga aditivos o no. (Foto 7.11)

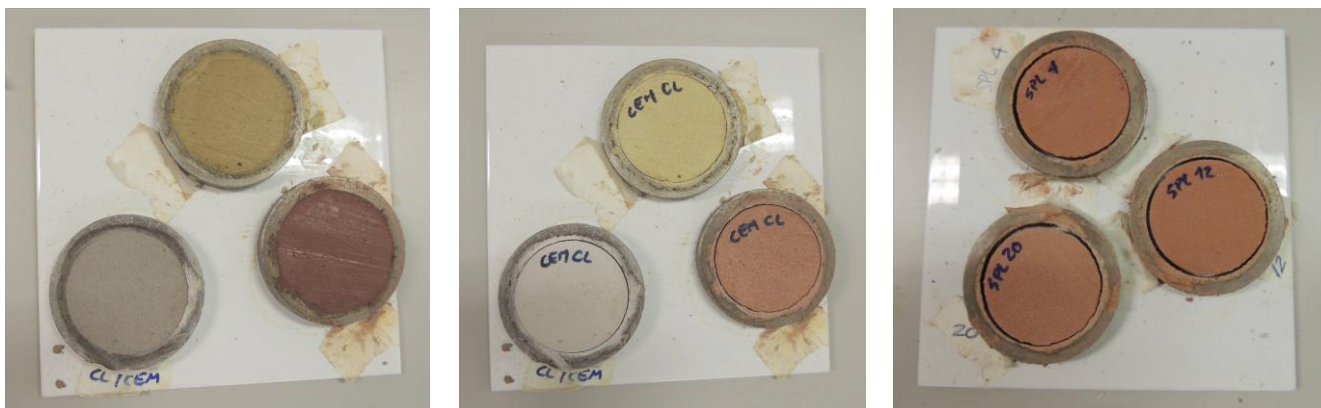


Foto 7.11: Proceso de fabricación y medición de la retracción en probetas de tres colores de morteros bastardos (A2, G4 y R1 + CEMCL) y otras tres probetas con dosificaciones diferentes de cal en pasta (SPL) para el mortero R1

La evaluación de la capacidad de resistencia a la rotura en estado endurecido de la probeta se hace tratando de partirla en dos partes tomándola con los dedos pulgar e índice de cada mano (Neves, 2009). Según el grado de oposición que manifieste la pieza a romperse se puede deducir si la dosificación del mortero es más o menos adecuada.

En la Tabla 7.7 se detallan los aspectos de comportamiento a tener en cuenta en la realización de esta prueba, según la respuesta de la dosificación analizada en cada probeta.

Tabla 7.7

PRUEBA DE RESISTENCIA SECA Y RETRACCIÓN			
EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DE LA PROBETA PARA MORTERO DE REVOCO			
RESISTENCIA A LA ROTURA	COMPORTAMIENTO	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	NIVEL DE RETRACCIÓN
Resistente	<ul style="list-style-type: none"> - Se parte con sonido seco - No se pulveriza 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto contenido de arcilla en la masa. Plasticidad - La probeta esta seca y no mancha los dedos 	- Alta retracción > 2 mm < 5 mm
Poco resistente	<ul style="list-style-type: none"> - Se deforma - Al tocar la probeta mancha los dedos 	<ul style="list-style-type: none"> - Contenido elevado de limos o arena en la masa. - La masa no se aplasta pero se marca la huella de los dedos o la superficie de la pieza mancha con polvo de arcilla. 	- Baja retracción < 2 mm
Nada resistente	<ul style="list-style-type: none"> - Masa fresca - Fácil disgregación de la pieza 	<ul style="list-style-type: none"> - La masa aún se aplasta fácilmente. Se marca fácilmente la huella de los dedos al hacer presión. 	- Sin retracción.

7.4.2.-ENSAYOS EN ESTADO FRESCO

Los ensayos del mortero en estado fresco son los que permiten analizar el grado de consistencia y densidad aparente que tiene la masa para poder trabajar con ella, comprobar si la dosificación de los componentes es adecuada para la aplicación del mortero e incluso determinar los posibles ajustes en la dosificación de cada uno. Son pruebas que deben realizarse apenas se prepara la mezcla después de ser humectada con el agua e haber incorporado los aditivos antes de que se produzca cualquier reacción química irreversible entre los componentes o bien se inicie el proceso de fraguado o endurecimiento.

De todos los posibles métodos a emplear para este tipo de ensayos, se selecciona desarrollar las pruebas que se describen a continuación:

7.4.2.1.- CONSISTENCIA

El ensayo de consistencia es la primera prueba que se realiza en el Laboratorio para la caracterización de todos los morteros en estado fresco. Esta prueba define si el mortero tiene la consistencia apropiada para su empleo en otros ensayos, lo que se traduce en evaluar si el contenido de agua de la amasada llega a un valor de escurrimiento óptimo para su utilización como revestimiento. El valor de escurrimiento adecuado es una medida de fluidez y/o humedad que le proporciona cierta deformabilidad al mortero si se somete a un esfuerzo, lo que facilita su trabajabilidad. Ese estado de fluidez permite utilizarlo para calcular la densidad aparente en estado fresco. El ensayo de consistencia debe repetirse cada vez que se realiza una amasada, para controlar que las muestras de morteros empleadas cumplan con idénticos valores de escurrimiento en todos los ensayos por igual y verifiquen, en caso de que sea necesario, los valores límites establecidos por la normativa.

No hay que confundir el valor de consistencia del mortero para la preparación de las muestras de ensayos de Laboratorio con el estado de humectación o plasticidad de trabajo que puede tener el mismo mortero cuando se prepara para su aplicación directa en el muro por un operario en obra. Esto último depende de diversos factores que pueden confluir a pie de obra y no siempre su valor es extrapolable, aunque con esta fase experimental se busca fijar ciertas pautas y algunos criterios condicionantes para la evaluación del grado de humedad que debe presentar el mortero. En los morteros de arcilla, incluso la propiedad de secarse y volver a humedecerse sin alterar sus características intrínsecas, obliga a prestar especial atención a la pérdida o aumento del contenido en agua de la masa durante la ejecución de la obra. Aunque siempre habrá que referirse al cuidado en la preparación y la calidad de la mano de obra, el procedimiento que se emplee para su aplicación y las condiciones

ambientales con respecto a la humedad relativa y temperatura pueden alterar, en diferente orden, los valores de referencia. En este caso es importante, tener en cuenta el periodo estacional, circunstancias climatológicas e incluso orientación y protección de los muros cuando se decide emplear el producto y ejecutar el revestimiento.

Para el desarrollo de este ensayo se siguen las instrucciones de la UNE-EN 1015-3:2000¹¹, y para la determinación de la consistencia de las diferentes dosificaciones de mortero de arcilla en estado fresco se utiliza la mesa de sacudidas normalizada con su correspondiente cilindro troncocónico metálico de bronce de 60 ± 5 mm de altura, con diámetro en la base de 100 ± 0.5 mm y en la parte superior de 70 ± 0.5 mm y un pisón de resina polimérica de 40mm de diámetro y aproximadamente 200 mm de longitud con una masa de 0.250 ± 0.015 kg

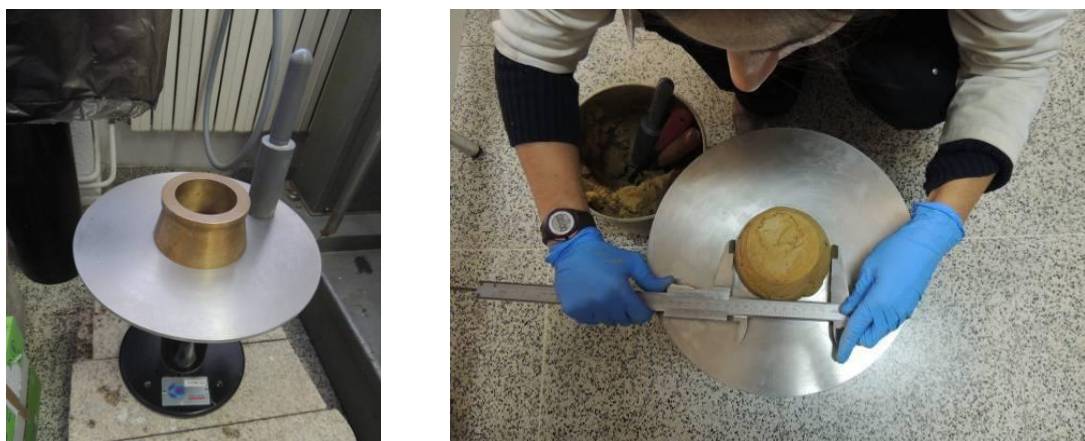


Foto 7.12: Mesa de sacudidas del Laboratorio de Construcciones Arquitectónicas con su respectivo molde metálico troncocónico y pisón de resina polimérica para la realización del ensayo que permite la determinación de la consistencia del mortero.

Una vez preparadas las muestras de mortero y, transcurrido el periodo de humectación tal como se explica en el apartado 7.3.1 de preparación de muestras, se colocaran dos tongadas sucesivas de mortero en el cilindro troncocónico metálico para compactarlas adecuadamente con el pisón. Cada vez que se rellena con una tongada de mortero se apisona con 10 golpes, hasta colmatar y enrasar el cilindro. A continuación se desmolda el mortero, con cuidado, en sentido vertical y se procede a dejar caer el disco de la mesa de sacudidas 15 veces con una frecuencia constante de más o menos una sacudida por segundo. El cono de mortero extendido se mide tomando los datos de dos de sus diámetros en

¹¹ **UNE-EN 1015-3:2000/A2:2007** Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).

sentido perpendicular entre sí y en mm (Foto 7.12). Este procedimiento se repite dos veces. De los valores parciales de escurrimiento obtenidos con cada medida se hace una media donde el valor final de la muestra no debe diferir del 10% de cada uno de los valores individuales. El mortero en estado fresco que se utiliza para la preparación de probetas de todos los ensayos debe tener la consistencia apropiada para su empleo como revoco. Por lo tanto, el estado de fluidez de la mezcla de mortero puede llevarse a valores de escurrimiento usando como referencia los datos facilitados por el fabricante o los que se extraen del apartado 6.2.1 de la norma UNE-EN 1015-2:1999¹². Estos valores se reflejan en la Tabla 7.8 donde se relaciona el valor de escurrimiento definido para diferentes valores de densidad aparente de mortero fresco; en la primera fila se marca con color los valores que son aplicables para el tipo de morteros de arcilla para revocos.

Tabla 7.8

VALOR ESCURRIMIENTO DEFINIDO PARA DIFERENTES TIPOS DE MORTERO relacionada con la DENSIDAD APARENTE DEL MORTERO FRESCO - UNE-EN 1015-2:1999	
Densidad aparente del mortero fresco (kg/m³)	Valor de escurrimiento (mm)
≤ 1200	175 ± 10
> 600 a ≤ 1200	160 ± 10
> 300 a ≤ 600	140 ± 10
≤ 300	120 ± 10

Estos valores se comparan y definen además con las Tablas que facilita AFAM (Asociación de Fabricantes de Morteros) en su apartado 1.1.3. de la documentación “Recomendaciones y pliego de condiciones para revestimientos de mortero “(AFAM, 2012), como se hará en adelante para todos valores de referencia de los diferentes ensayos que se describen y cuyo detalle completo se suman en el documento ANEXO de datos e información complementaria, donde facilita una síntesis de las condiciones que deben cumplir los morteros de revestimiento relacionado con sus propiedades, características y requisitos,

¹² Norma UNE-EN 1015-2:1999/A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de morteros para ensayo

De esta referencia se hace un extracto para los valores de consistencia en la Tabla 7.9 que se describe a continuación:

Tabla 7.9

Extracto de AFAM Tabla 3: Propiedades, características y requisitos de morteros de revestimiento en estado fresco							
PROPIEDAD	CARACTERÍSTICAS/ OBSERVACIONES			REQUISITO			
				Condición o declaración	Campo de aplicación/uso	Criterio de aceptación	Normas UNE-EN de referencia
CONSISTENCIA	Grado de trabajabilidad del mortero. Se determina mediante la mesa de sacudidas, que mide el escurrimiento			La consistencia la debe declarar el fabricante	Para la puesta en obra del mortero, con el fin de controlar su correcta adhesión y otras propiedades	Dentro del intervalo declarado para su consistencia	1015-3:2000 1015-3:2000/A1:2005 1015-3:2000/A2:2007
	Clasificación	Categoría	Valores (mm)				
		Seca	<140				
		Plástica	140 a 200				
		Fluida	>200				

De los datos que se extraen de ambas tablas se determina que se tomara como referencia el valor de escurrimiento entre 140 a 200 mm para conseguir una masa de mortero para revoco que sea plástica con el objeto de asegurar la mínima trabajabilidad que garantice la estabilidad del revestimiento. Igualmente, se deben comprobar los resultados de consistencia de todas las mezclas que se realicen para establecer los parámetros de comparación entre las diferentes dosificaciones.

7.4.2.2.- DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente de cualquier tipo de suelo refleja el volumen de poros que contiene. La importancia del estudio de su valor radica en que permite conocer el grado de compactación que se puede lograr con un determinado tipo de tierra y la facilidad de circulación de agua y de aire por sus poros. También es un dato necesario para transformar muchos de los resultados de los análisis de los suelos o tierras en el Laboratorio que se expresan en porcentaje de peso por valores de porcentaje en volumen de material para la realización de las pruebas de campo.

Para las pruebas de Laboratorio, se decide evaluar la densidad aparente de los diferentes morteros a ensayar en estado fresco utilizando como referencia la UNE-EN 1015-6:1999¹³ ya que las pruebas de densidad aparente en seco del mortero endurecido según norma UNE-EN 1015-10:2000¹⁴ no son viables de poder realizarse en el caso de los morteros de tierra, porque no pueden dejarse las probetas de este producto sumergidas totalmente en agua un tiempo prolongado, tal como se indica en el procedimiento operatorio del ensayo de dicha norma.

Por lo tanto, para este ensayo se cumplen los requisitos de la norma de referencia, se emplea un recipiente cilíndrico metálico de 1 litro de capacidad y de 12,5 cm de diámetro, que permite determinar la densidad aparente del mortero fresco dividiendo la masa que tiene el recipiente cilíndrico por el volumen que ocupa el mortero de arcilla que lo rellena, después de un proceso de compactación por sacudida. Para conseguir la compactación con este proceso se rellena el recipiente de ensayo hasta la mitad con el mortero de arcilla en estado fresco. El recipiente se bascula de un lado a otro y posteriormente se deja caer 10 veces desde una altura de 30 mm aproximadamente sobre una base sólida y rígida. A continuación, se rellena el total del recipiente hasta nivelarlo con el borde superior y se repite el mismo proceso de compactación antes mencionado. Finalmente se rellena por completo el vaso, si hace falta, hasta que la superficie superior del recipiente quede plana y enrasada, y se pesa (Foto 7.13).



Foto 7.13: Recipiente cilíndrico de aluminio, pisón de resina polimérica y balanza para la realización del ensayo que permite determinar la densidad aparente del mortero

¹³ UNE-EN 1015-6:1999 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 6: Determinación de la densidad aparente del mortero fresco.

¹⁴ Apartado 7 de procedimiento operatorio de la UNE-EN 1015-10:2000/A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido.

Este procedimiento se realiza dos veces, para contar con los **datos de pesada Pm1 y Pm2**, es decir, obtener un **valor medio** de dos determinaciones de la densidad aparente del mortero fresco. Este procedimiento de compactación y cálculo de la densidad aparente se denomina por el método de sacudidas ya que el valor de escurrimiento del mortero da una consistencia plástica de utilización¹⁵. Después de obtener los datos necesarios para este ensayo, la misma masa de mortero preparado se utiliza para elaborar las probetas necesarias que van a servir para los ensayos de mortero endurecido.

El rango de valores facilitado por el fabricante estima que la densidad aparente media en estado fresco de los morteros de arcilla preparados empleados en este trabajo es de 1900 kg/m³ (Ecoclay, 2013) que se comparan con los se especifican como valores medios recomendados por la norma UNE-EN 1015-6:1999 en la Tabla 7.10.

Tabla 7.10

TABLA COMPARACIÓN de REFERENCIAS para VALORES de DENSIDAD APARENTE			
ENSAYO	Normativa UNE-EN 1015-6:1999	Empresa ECOCLAY	Bibliografía CRATERRE (Moevus, 2012)
Densidad aparente del mortero sin compactar (Kg/m ³)	< 1300	860	300-1200
Densidad aparente de la pasta (Kg/m ³)	Valores se debe declarar el fabricante	1900	1200-2200

Los mismos valores se especifican en las recomendaciones para el Pliego de Condiciones técnicas por AFAM, de donde se incorpora un extracto para los valores de densidad en seco aparente en la Tabla 7.11, por lo que se puede establecer que el valor del fabricante cumple con lo aceptable para el estado del mortero en seco sin compactar.

¹⁵ Cálculo establecido según tabla 1 de procedimientos operatorios para determinar la densidad aparente de los morteros de la norma UNE-EN 1015-6:1999, donde se especifica que para morteros con valor de escurrimiento entre 140 a 200 mm la consistencia de utilización es plástica y debe hacer el ensayo de llenado y compactación de la muestra mediante métodos de vibración o método de sacudidas.

Tabla 7.11

Extracto de AFAM Tabla 3: Propiedades, características y requisitos de morteros de revestimiento en estado fresco					
PROPIEDAD	CARACTERÍSTICAS / OBSERVACIONES	REQUISITO			
		Condición o declaración	Campo de aplicación/uso	Criterio de aceptación	Normas UNE-EN de referencia
DENSIDAD EN SECO APARENTE	En el caso de morteros ligeros su densidad será menor o igual a 1.300 Kg/m ³ .	El fabricante debe declarar el intervalo de valores en Kg/m ³ para la densidad en seco aparente.	Para todos los morteros para revestimiento diseñados.	Dentro del intervalo declarado. Para LW (mortero para revoco o enlucido ligero) ≤ 1.300 Kg/m ³ .	1015-10:2000/A1:2007

7.4.3.- ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO

- COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA

7.4.3.1.- ESTABILIDAD DIMENSIONAL

En general, en la construcción con productos de tierra cruda las características de un mortero de tierra dependen en gran medida de la procedencia de la materia prima, tipo y granulometría de sus componentes, como se comenta desde el inicio de este trabajo, por lo que establecer valores de referencia en cuanto a la respuesta a la retracción resulta difícilmente referenciable. Para comparar la proporción de contracción de diferentes tipos de morteros de arcilla hay que realizar ensayos previas, como las pruebas de campo a pie de obra mencionadas en el apartado 5.2 de este capítulo, con las que controlar o prever la respuesta de la mezcla que se vaya a utilizar frente a la retracción, lo que significa aplicar un proceso de prueba y error.

Otra posibilidad es hacer unas pruebas de retracción aparente según Norma alemana DIN 18952¹⁶ rellenando moldes prismáticos para lograr probetas de poco espesor (25 mm), ancho de 40 mm y largo de 220 mm (Minke, 2014) y tomar las medidas de variación de ancho y largo durante el proceso de secado de las probetas en hornos a temperatura constante (60°C).

El hecho de emplear en este trabajo morteros preparados con materia prima seleccionada y controlada para su uso en revocos (tierra arcillosa más áridos granulométricamente medidos) permite cuantificar la retracción en la masa del mortero, dependiendo fundamentalmente de la combinación de minerales que contenga cada arcilla en los tres tipos de morteros de arcilla base sin aditivos, A2, G4 y R1, donde la presencia de mayor proporción de illita, caolinita, cuarzo y hierro, respectivamente, puede influir en su respuesta al secado y de la cantidad de agua que se aporte. En las demás dosificaciones la presencia de aditivos de diferentes cales o cemento pretende establecer parámetros de comparación que permitan analizar los resultados de contracción.

Para plantear este ensayo se consultan las condiciones definidas en UNE 83830 EX: 2010¹⁷, con la finalidad de verificar qué normativas vigentes sobre caracterización de morteros son aplicables a la serie de ensayos que se han planteado para la fase de experimentación. Se busca establecer, como en los otros casos, pautas de aplicación y comprobar si el procedimiento que se aconseja para los morteros en general es viable para la determinación de la retracción en morteros de arcilla preparados. Se programa para esta prueba la ejecución de tres (3) probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm por cada amasada preestablecida, que se emplearán además para las pruebas de compacidad mediante medida de ultrasonidos que se define en el apartado 7.4.3.4. Cabe señalar que, a su vez, estas tres (3) probetas se extraen del conjunto de nueve (9) probetas previstas para finalmente realizar los ensayos mecánicos de flexión y compresión (apartado 7.4.3.5)

El objeto de este ensayo es hacer un seguimiento de toma de datos de los pesos y mediciones de la dimensión de cada una de las probetas (ancho y longitud), en los mismos períodos establecidos para el secado y curado de las mismas, es decir, a los 2 días, 7 días y 28 días. Además, se agrega una lectura intermedia a los 14 días (Foto 7.14)

¹⁶ La norma alemana DIN 18952, Parte 2, sobre ensayos para la construcción con tierra, se considera una de las prescripciones básicas y de referencia actualizadas hasta el año 2010 (Schroeder, 2015)

¹⁷ UNE 83830 EX: 2010. Morteros. Método de ensayo de los morteros para albañilería endurecidos. Determinación de la estabilidad dimensional de los morteros de albañilería endurecidos.



Foto 7.14: Proceso de desmolde de probetas prismáticas, curado y medición de dimensión longitudinal con pie de rey manual.

A continuación se muestran en la Tabla 7.12, valores comparativos entre los facilitados por el fabricante y otros usados como referencia de ensayos experimentales realizados basados en la norma alemana DIN 18952 (Minke 2001), referenciada en párrafos anteriores, y los que Craterre publica como margen de valores posibles dependiendo del tipo de suelo.

Tabla 7.12

TABLA COMPARACIÓN de REFERENCIAS para VALORES DE RETRACCIÓN				
ENSAYO	Norma UNE 83830 EX: 2010	Empresa ECOCLAY	Normativa alemana DIN 18952	Bibliografía CRATERRE (Houben , 2008)
Retracción (mm)	Valor medio de la suma de los valores que se toman como dato en los periodos de medición (dependerá del material o producto)	6 %	7.2 %	3-10 %

7.4.3.2.- ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD

La absorción es la capacidad de un material o elemento constructivo poroso de llenar sus poros con un fluido, como el agua. Se considera como uno de los factores más agresivos frente al cual los morteros, y en especial los de tierra cruda, tienen poca o nula garantía de durabilidad en contacto directo con el agua de forma continua. La humedad puede presentarse de diferentes formas en un revoco: por filtración de agua, que

como agua absorbida por penetración en las diferentes capas del revoco dañe indirectamente la superficie del acabado o afecte el revestimiento con fisuración superficial o por succión capilar de los materiales que conforman el muro base soporte por el que se traspasa por absorción a las capas del revoco. Por lo tanto, determinar el grado de absorción y de qué manera la humedad por succión pueden afectar al mortero del revestimiento es un factor importante de cuantificar y determinar en el uso de estos productos.

Aunque la norma UNE-EN 1015-18:2003¹⁸, es de aplicabilidad para los morteros destinados a ser utilizados con exposición al ambiente exterior, se decide utilizar esta norma como referencia para la realización del ensayo y registrar la respuesta de los morteros de arcilla a la absorción de agua por succión capilar. En este caso concreto, al utilizar morteros de arcilla preparados con adiciones de diversos tipos de cales y en diferentes proporciones resulta necesario verificar la respuesta de las distintas dosificaciones sumergidas parcialmente en agua.

Se decide emplear un total de nueve (9) probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 cm de lado, realizadas específicamente para este ensayo. El total de probetas se divide en tres lotes de tres (3) probetas cada uno para ser sumergidas en agua destilada unos ± 10 mm dentro de unos recipientes plásticos con tres tipos diferentes de base de apoyo: sobre parrillas plásticas perforadas dentro del agua, una cama de arena limpia cubierta de agua destilada y un paño de algodón empapado también de agua destilada. Se varían las condiciones establecidas por la norma UNE de referencia, porque se considera importante evaluar cómo responden los productos con los que se va a experimentar, ya que los morteros de arcilla sin aditivos corren el riesgo de disgregarse rápidamente dada la baja resistencia que pueden presentar al estar en contacto directo con el agua. Por lo tanto, se necesita verificar y medir el tiempo de estabilidad de las probetas en contacto directo con el agua y si influye o no la base de apoyo drenante para constatar el riesgo de pérdida de masa, y cómo interviene el tipo de aditivo de la dosificación¹⁹.

El ensayo de referencia establece registrar el peso de las probetas que se colocan en posición vertical, siempre con la cara de la probeta partida sumergida en agua destilada entre 5 a 10 mm, y sustentadas sobre soportes en cada vértice de la base o parrilla que garanticen una altura de al menos 10 mm de separación con la base del recipiente. El peso debe controlarse con dos mediciones consecutivas, una a los 10 minutos y otra transcurridos un total de 90 minutos desde la inmersión inicial de las piezas.

¹⁸ **UNE-EN 1015-18:2003** Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: Determinación del **coeficiente de absorción de agua por capilaridad** del mortero endurecido

¹⁹ Como antecedente de referencia se considera lo realizado por Gernot Minke en el FEB - Forschungslabors für Experimentelles Bauen (Laboratorio de Construcciones Experimentales de la Universidad de Kassel, Alemania) procedimiento que detalla en su publicación Manual de la Construcción en Tierra (Minke2001) En este caso, modifican el método experimental definido en la norma alemana DIN 52617 para determinar el coeficiente de absorción de agua, aplicando a las probetas cubicas de tierra cruda una resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio por los laterales para evitar la deformación y expansión de la misma y las apoyan sobre una esponja de 4 mm sobre una plancha de vidrio para ser sumergidas en agua y que no se debilite la base.

Los tiempos que establece la norma se consideran insuficientes para poder evaluar el comportamiento de este tipo de productos frente a la absorción de agua, por lo que en este trabajo de investigación se sigue la misma pauta de hacer las dos mediciones de peso al inicio de la prueba pero se adicionan periodos de medición a las 24 hs, 48 hs, 72 hs, 96 hs, es decir, se agregan mediciones diarias siempre a la misma hora durante los siguientes 4 días²⁰. (Foto 7.15) En todo el proceso de control del peso de las probetas se hace la medición en balanza calibrada de precisión 0,01 g.

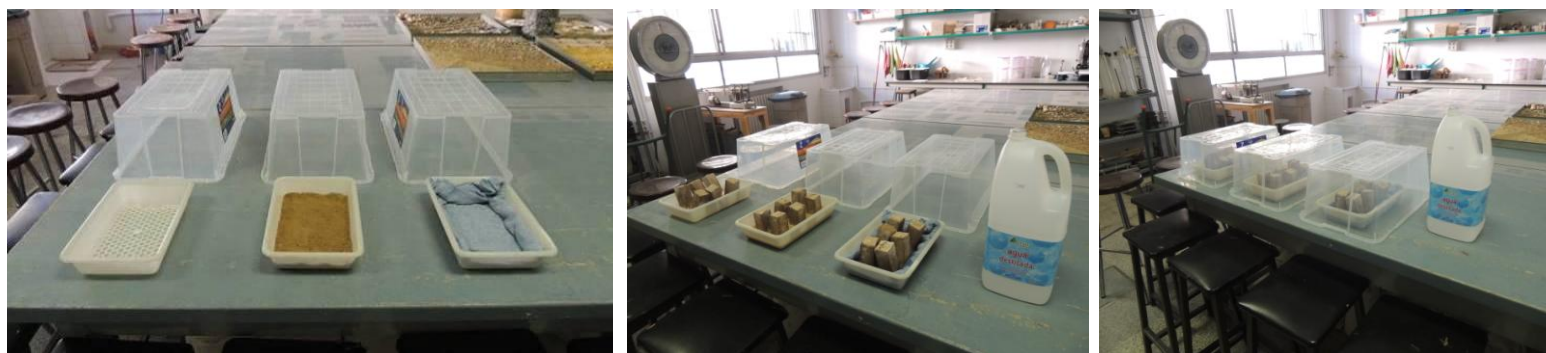


Foto 7.15: Proceso de realización del ensayo de absorción por capilaridad: preparación de recipientes, colocación de mitades de probetas prismáticas, siempre con la cara partida en contacto con el agua destilada y conservación de probetas en recipientes tapados mientras transcurren los diferentes periodos de tiempo correspondientes al control del peso de las piezas.

Se exponen, a continuación, en la Tabla 7.13 los valores comparativos facilitados por el fabricante con otros de referencia de ensayos experimentales realizados por Gernot Minke en el FEB (Minke 2001) referenciado con anterioridad.

Tabla 7.13

TABLA COMPARACION de DATOS de REFERENCIAS			
ENSAYO	Normativa UNE-EN1015-18:2003	Normativa alemana DIN 52617 (Minke 2001)	Bibliografía CRATERRE
Absorción de agua máximo($\text{Kg/m}^2\text{min}^{0.5}$)	Valor individual con una aproximación de $0,1 \text{ Kg/m}^2\text{min}^{0.5}$	1,6 mortero arcilla 3,6 mortero arcilla + paja	1,6 - 4

²⁰ En otros ensayos de referencia como el ejecutado en el trabajo de fin de curso por Santiago Riera y Conçalves Soares (Santiago et al, 2002) de la Universidad Politécnica de Cataluña también se amplía la medición hasta las 24 horas de colocación de las probetas en el recipiente.

Según el documento CTE-DB-HS1. Salubridad, en su apartado 2.3 Fachadas, para establecer el correspondiente grado de impermeabilidad de la fachada hay que definir los requisitos que debe cumplir un mortero de revestimiento, sea revoco o enlucido, cuya capacidad de absorción de agua por capilaridad debe cuantificarse con un coeficiente cuyo valor se relaciona con la designación del mortero para uso interior o exterior, y que permite caracterizar el marcado CE²¹ del producto.

Para ello se consideran las designaciones que hace la norma UNE-EN 998-1:2010, definidas por los valores de su correspondiente coeficiente de absorción de agua por capilaridad en la Tabla 7.14 como extracto del documento Recomendaciones y Pliego de Condiciones para morteros de revestimientos de AFAM (AFAM, 2012).

Tabla 7.14

Extracto de AFAM Tabla 3: Propiedades, características y requisitos de morteros de revestimiento en estado fresco							
PROPIEDAD	CARACTERÍSTICAS/ OBSERVACIONES			REQUISITO			
				Condición o declaración	Campo de aplicación/uso	Criterio de aceptación	Normas UNE-EN de referencia
ABSORCIÓN DE AGUA	Clasificación	Categorías	Valores	El fabricante debe declarar la absorción de agua.	Sólo para los morteros destinados a ser utilizados en construcciones exteriores.	Dentro de la categoría declarada ó $\geq 0,3 \text{ Kg/m}^2$ después de 24 h. para morteros de renovación.	1015-18:2003
		W0	No especificado				
		W1	$C \leq 0,4 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$				
		W2	$C \leq 0,2 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$				

7.4.3.3.- PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

La permeabilidad de un material o elemento constructivo es la capacidad de dejar pasar un líquido o gas a través de sus poros. La estanqueidad o la condensación superficial o interior de los cerramientos son propiedades muy importantes ya que definen la capacidad de respirabilidad o evaporación de vapor de agua de los materiales que lo componen. El vapor de agua, como la mayoría de los gases, es capaz de atravesar los sólidos, la cantidad de vapor que atraviesa depende directamente de la presión a la cual es sometido el gas contra el sólido, de la superficie a través de la cual pasa y el tiempo de aplicación y a su vez, inversamente proporcional al espesor del sólido que debe atravesar (Sastre, 2010). Esta propiedad es conocida con el término de permeabilidad.

²¹ El marcado CE para productos de construcción que se fabrican de forma industrial es necesario para garantizar sus prestaciones y controles de calidad en el proceso de producción.

Los morteros de arcilla tiene la propiedad de regular la humedad relativa del aire y la temperatura ambiente, como todo producto de tierra cruda, pero la capacidad de absorción de humedad puede variar bastante dependiendo de la técnica y de la composición del material empleado e incluso de los aditivos que se incorporen a la masa como estabilizantes (Castilla, 2004). Se busca, por lo tanto, cuantificar esa característica y cómo puede afectar que el mortero contenga aditivos de cal y cemento en diferentes proporciones. Sobre todo se busca establecer parámetros de comparación entre las dosificaciones con cal aérea de las que contienen conglomerantes hidráulicos.

La referencia de las especificaciones de la norma UNE-EN 1015-19:199/A1:2005²², que es de aplicación para morteros de uso en el exterior, se utiliza como pauta para realizar el ensayo de determinación de la permeabilidad al vapor de agua, teniendo en cuenta que estos productos tienen la capacidad de regular el intercambio de vapor de agua con el medioambiente y así poder cuantificar cómo afecta las variaciones de humedad y temperatura en este caso.



Foto 7.16: Burlete de caucho para sellado de la probeta con el borde superior del recipiente y recipiente de plástico circular con disolución salina hasta dejar una cámara de aire de unos 10 mm de espesor entre la lámina superior de la disolución y la base de apoyo de la probeta

Tal como indica la norma UNE-EN 1015-19:1998, para este ensayo se fabrican diez (10) probetas cilíndricas de 160 mm de diámetro y 15 mm de espesor para colocarlas en recipientes circulares de plástico que contienen disoluciones saturadas que proporcionan diferentes grados de humedad para generar vapor de agua. La probeta que usa el recipiente de soporte queda sellada coincidiendo con el borde superior del mismo mediante una junta de estanqueidad (Foto 7.16). Para obtener el valor de una humedad relativa elevada, la mitad de los recipientes contienen

²² UNE-EN 1015-19:1999/A1: 2005: Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 19: Determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros para revoco y enlucido

una disolución saturada de nitrato potásico (KNO_3) que proporciona una humedad relativa (HR) del 93,2 %, y para controlar la presión de vapor de agua para humedades relativas menores, la otra mitad de recipientes contienen una disolución saturada de cloruro de litio (LiCl) que genera una HR del 12,4 %. En cada caso entre la probeta y la disolución se deja una pequeña lámina de aire de $10 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ para poder evaluar el efecto del flujo ascendente y descendente de vapor de agua a través del espesor de la probeta.

Los recipientes se deben colocar para su seguimiento y control en una cámara climática que proporcione temperatura constante de $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad relativa constante de $50\% \pm 5\%$. (Foto 7.17).

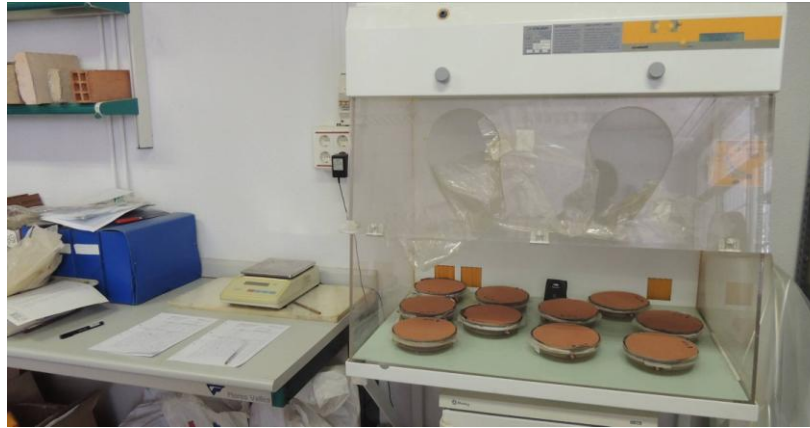


Foto 7.17: Recipiente de plástico circular con soportes también plásticos para apoyar la probeta de mortero de arcilla.
Control y seguimiento del ensayo en ambiente controlado

El cálculo de la permeabilidad al vapor de agua se consigue de la relación entre las dimensiones del **espesor de la probeta** y los valores que se obtienen del control del **peso** de los recipientes durante **dos (2) días** consecutivos, que relacionan ese peso con el **diferencial de tiempo** hasta que las condiciones sean estables, lo que se denomina **permeanza al vapor de agua** (Λ), es decir la diferencia unitaria de la presión de vapor de agua entre dos caras del material.

Como valor de **referencia** el coeficiente de difusión del vapor de agua (μ), es decir, el indicador de **la permeabilidad** al vapor de agua de los morteros para revocos o enlucidos, normalmente lo facilita el fabricante tal como lo especifica el detalle de la Tabla 7.15 en cumplimiento con la normativa pero se toma como dato válido el margen de valores que establece Craterre (Moevus, 2012).

Tabla 7.15

TABLA COMPARACIÓN de DATOS de REFERENCIA		
ENSAYO	Normativa UNE-EN 1015-19:1999/ A1:2005	Bibliografía CRATERRE (Moevus, 2012)
PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA (en medio húmedo) (g x cm/díaxm ² xmm Hg)	Valores se debe declarar el fabricante	5 – 13 μ

Al igual que para otros ensayos se describe en la Tabla 7.16 un extracto del Pliego de Condiciones para morteros de revestimientos de AFAM (AFAM, 2012) donde quedan reflejado el vacío de datos que existe al respecto. Los requisitos que se detallan solo son de aplicación para morteros de uso exterior o monocapas dentro del ámbito normativo español.

Tabla 7.16

Extracto de AFAM Tabla 3: Propiedades, características y requisitos de morteros de revestimiento en estado fresco					
PROPIEDAD	CARACTERÍSTICAS/ OBSERVACIONES	REQUISITO			
		Condición o declaración	Campo de aplicación/uso	Criterio de aceptación	Normas UNE-EN de referencia
PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA	Solo para los morteros destinados a ser utilizados en construcciones exteriores.	El fabricante debe declarar el valor del coeficiente de difusión del vapor de agua (μ).	Sólo para los morteros destinados a ser utilizados en construcciones exteriores.	Menor o igual que el valor declarado. En morteros para renovación y morteros para aislamiento térmico, ≤ 15 .	1015-19:1999/ A1:2005
PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA sobre soportes relevantes después de ciclos climáticos de acondicionamiento	Sólo para los morteros monocapa (OC).	El fabricante debe declarar el valor de permeabilidad al agua en ml/cm ² después de 48 h.	Sólo para los morteros monocapa (OC).	≤ 1 ml/cm ² después de 48 h.	1015-21:2003

- COMPORTAMIENTO MECÁNICO

7.4.3.4- COMPACIDAD: MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE ULTRASONIDOS

Puesto que el ensayo de densidad aparente se hace con mortero de arcilla en estado fresco, se lleva a cabo otra prueba con la que se obtienen datos de referencia frente a la cohesión y porosidad de las probetas de los morteros en estado endurecido, después de los 28 días de curado.

El objeto de esta prueba es comprobar mediante un ensayo no destructivo la estructura interna de las piezas para determinar la naturaleza, presencia y localización de discontinuidades, si las hubiera, y así evaluar las características materiales sin modificar las condiciones de servicio del producto a través de la determinación de la velocidad de propagación por ultrasonidos, es decir, el cociente entre la distancia que recorre la onda y el tiempo de transmisión.

Para la ejecución de esta prueba se utilizan tres (3) probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm y un equipo Pundit Lab+ de generación de ondas longitudinales y palpadores que mediante el mecanismo de transformación de la energía, en este caso de ultrasonido, conviertan energía eléctrica en energía mecánica y energía mecánica en energía eléctrica. Los palpadores están formados por una serie de componentes donde priman los cristales piezoeléctricos que convierten deformaciones mecánicas, es decir, vibraciones en cargas eléctricas. La función del palpador de cristal es convertir en señales eléctricas las deformaciones aplicadas y viceversa, estos efectos hacen posible la medición por ultrasonidos. El dispositivo facilita la lectura de la velocidad de propagación, previa introducción de los datos de dimensiones de medición. Estas mediciones se realizan en sentido longitudinal de la probeta y en el ancho de la pieza, para evaluar tres puntos transversales de la misma.

Las mediciones se realizan colocando el emisor en la cara opuesta del receptor para que las ondas ultrasónicas puedan atravesar el espesor del sólido de la pieza, colocando la probeta sobre una base firme y horizontal. La lectura de tiempo se observa sobre la pantalla numérico digital del equipo con una precisión de 0,1 μ s. (Foto 7.18)

La longitud de onda depende de la frecuencia comprendida entre 2 y 5 MHz que para el examen de materiales de grano fino es más apropiado. Cuanto mayor sea la frecuencia la transmisión de la onda será más débil, por lo tanto, a mayor longitud de onda (menor frecuencia) las ondas atraviesan partículas de mayor tamaño. En materiales homogéneos, la velocidad varía en gran cantidad dependiendo de la dosificación, compactación que logra el elemento constructivo en su fabricación, edad de curado, etc.

Esta técnica permite, principalmente, detectar el porcentaje de oquedades o fisuraciones que puedan afectar la cohesión, estabilidad dimensional y también la resistencia mecánica de las probetas, lo que puede ser un parámetro indicador si se consigue establecer una correlación con los valores de los ensayos que se llevan a cabo de flexotracción o compresión. Aunque cabe aclarar que este método no es sustituto de los métodos de ensayo destructivos para la determinación de la resistencia de los materiales (Huete, 1993).



Foto 7.18: Dispositivo de medición de la velocidad de transmisión por ultrasonido

- Valores de referencia

Existen numerosos estudios de análisis y caracterización de materiales a través del uso de la técnica de evaluación de la compacidad o estado de conservación por ultrasonido, para elementos de madera, piedra u hormigón. Las normas más completas son las americanas ANSI/ASIM D 2845 (1969-1976) pero referidas a hormigones (Rodríguez, 1999) En cuanto al análisis de los revestimientos solo existen estudios con morteros de cal (Santiago, 2002) Tabla 7.17

Tabla 7.17

TABLA COMPARACIÓN de DATOS de REFERENCIA			
ENSAYO	Morteros de cal (Santiago,2002)	Mortero con áridos reciclados (Velay-Lizancos, 2014)	Hº pobre (Huete,1993)
COMPACIDAD: MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE ULTRASONIDOS (μS)	60 - 84	66-74	
PROPAGACIÓN DE ULTRASONIDOS (m/s)	5480 - 9800	4700-5100	3000

7.4.3.5.- RESISTENCIA FLEXOTRACCIÓN Y COMPRESIÓN

La rigidez de un material o elemento constructivo es la capacidad de oponerse a una deformación que normalmente se produce al modificar el estado tensional del mismo. La resistencia mecánica es, pues, la capacidad de soportar esfuerzos y deformaciones sin romperse ni deformarse excesivamente. El que un material resista un determinado tipo de esfuerzo no quiere decir que también tenga resistencia suficiente frente a otros (Sastre, 2010).

Los valores de resistencia a los esfuerzos de flexión de morteros de arcilla ensayados en trabajos experimentales que se han publicado los últimos años en España, no se pueden tomar como referencia ya que se presentan variables que no son de aplicación para este trabajo por ser morteros con dosificaciones de fibras o estabilizadores sintéticos. En cuanto a las últimas investigaciones publicadas como trabajos fin de máster²³ o en actas de Congresos esta prueba experimental en general se basa en el uso de morteros con aditivos cuya función principal es servir de armadura de la mezcla como son las fibras vegetales (paja, cebada arroz, etc.) (García, 2014) o tesis doctorales sobre morteros de barro y paja estabilizados con látex (Castilla, 2004). Los resultados que estos estudios ofrecen valores de resistencia, tanto a la flexión como a la compresión, bastante elevados en comparación con los morteros sin armar, justamente por la presencia de componentes que refuerzan la masa del mortero.

Se debe tener en cuenta que la resistencia a la flexión depende de la mineralogía de las arcillas empleadas y fundamentalmente su contenido en la dosificación; la arcilla montmorilonita tiene una resistencia mayor a la arcilla caolinita cuando se ensayan morteros para revoco a la flexión²⁴ y, en el caso de la resistencia a la compresión influye la distribución granulométrica de los componentes, el contenido de agua, el nivel de compactación y también el tipo de arcilla (Minke, 2001). Pocos trabajos pueden servir para extraer valores y encontrar equivalencias ya que se investiga más con resistencias mecánicas para sistemas constructivos en tierra cruda, tapias o BTC que para morteros de arcilla para revestimiento. Los trabajos mejor desarrollados dentro del ámbito de los morteros, trabajan con morteros de agarre en albañilería (Gomes, 2012) o de reparación para mamposterías en rehabilitación de edificios (Gomes et al., 2013).

²³ Como ejemplo se expone el trabajo de Vanesa Gonzalo Sánchez (GONZALO, 2013) de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Universidad Politécnica de Madrid sobre morteros de barro estabilizados con fibras de paja, esparto y sisal para su uso como revestimientos, se centra en estudiar el comportamiento de morteros de barro estabilizados con fibras naturales para su uso como revestimientos sobre soportes con tierras del municipio de Hita, Guadalajara, España.

²⁴ La referencia existe en la investigación que hacen Hofman, Schembra et. al. (1967) que obtiene resistencias a la flexión para arcilla caolinita de 1.7 kg/cm² y para montmorilonita 223 kg/m²

Para obtener valores de resistencia a la flexión y compresión de las dosificaciones diseñadas para esta fase experimental se seguirán las referencias de la norma UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007²⁵. Cabe señalar que el ensayo de determinación de la resistencia a flexión se realiza como paso previo al de resistencia a la compresión de las probetas. En el caso de morteros para revoco, como producto de poco grosor y revestimiento continuo de muros, el valor relevante es este último, ya que estará sometido básicamente a tensiones superficiales desde la fase de aplicación sobre el soporte, durante el proceso de secado del producto y posteriormente en el mantenimiento de la resistencia al desgaste y durabilidad como capa de acabado.

Para la realización de los dos ensayos se utilizan probetas prismáticas con dimensiones 40 x 40 x 160 mm. Se programan nueve (9) probetas para el ensayo de flexión y dieciocho (18) probetas para el de compresión. Las pruebas se realizan en el Laboratorio de Construcciones Arquitectónicas, donde se emplea una prensa multiensayo. (Foto 7.19).



Foto 7.19: Prensa multiensayo que se programa desde el software específico del ordenador que controla el proceso de ejecución de los ensayos de flexión y compresión. Para cada ensayo se adapta un dispositivo particular para asiento de las probetas

²⁵ **UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007** Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.

El objetivo de estos ensayos de resistencia es someter a las probetas a tensiones de carga mecánica lo que hace que las piezas puedan ser usadas para ambos ensayos. Por lo que respecta al ensayo de flexotracción, la carga aplicada por el dispositivo de la prensa primero rompe a las probetas dividiéndolas en dos partes; y posteriormente cada una de estas mitades se emplea para ser sometidas a cargas de compresión en cumplimiento con el procedimiento y especificaciones de la norma.

Para determinar la resistencia mecánica a la flexión y compresión se evalúan los resultados que se obtienen a través del software que como programa informático maneja la prensa. Todos los valores se guardan en archivos Excel para poder compararlos y evaluar resultados de resistencia.

- Valores medios de referencia resistencia a flexión

Según la norma UNE de referencia los valores de **resistencia a la flexión** vendrán dados del cálculo de la tensión admisible que es igual al valor de la fuerza aplicada por la luz de apoyo, con un incremento de 1.5, sobre el área de la sección de la probeta (fórmula $f_d = 1.5 \times F \times l / (b \times d)^2$), que el propio fabricante debe establecer los valores aceptables. Con los valores facilitados por el fabricante para los morteros de arcilla sin aditivos y los referenciados por la Norma alemana DIN 18952 (Minke, 2001), se comparan datos en la Tabla 7.18 para resistencia a flexotracción y Tabla 7.19 para resistencia a compresión.

Tabla 7.18

TABLA COMPARACIÓN de DATOS de REFERENCIA			
ENSAYO	Normativa UNE-EN-1015-11	Empresa ECOCLAY	Normativa alemana DIN 18952
RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN (N/mm ²)	Valores se debe declarar el fabricante	0.8	0.67

- Valores medios de referencia resistencia a compresión

Tabla 7.19

TABLA COMPARACIÓN de DATOS de REFERENCIA			
ENSAYO	Normativa UNE-EN-1015-11	Empresa ECOCLAY	Normativa alemana DIN 18952
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (N/mm ²)	Valores se debe declarar el fabricante	1.3	2 a 5

El Código Técnico de la Edificación (CTE) en su documento básico HS1. Salubridad. Fachadas, designa el grado de impermeabilidad de un muro de fachada de acuerdo a la zona geográfica en la que se encuentra, las condiciones de exposición climatológica y la incidencia de los vientos según el tipo y altura de edificio para el que se diseñe la envolvente. Dentro de esta clasificación establece correlaciones entre el tipo de muro y el tipo de revestimiento que debe llevar en alguna de sus caras, por lo que en la Tabla 7.20²⁶ se refleja la distinción entre los valores de resistencia a la compresión para morteros de interior, designados a la categoría de morteros CS I (0,4-2,5 N/mm²) y CS II (1,5-5 N/mm²) y los valores para revocos y enlucidos expuestos al exterior donde se debe cumplir como mínimo con las designaciones y resistencias CS III (3,5-7,5 N/mm²) o CS IV (≥ 6 N/mm²).

Tabla 7.20

Extracto de AFAM Tabla 3: Propiedades, características y requisitos de morteros de revestimiento en estado fresco							
PROPIEDAD	CARACTERÍSTICAS/ OBSERVACIONES			REQUISITO			
				Condición o declaración	Campo de aplicación/uso	Criterio de aceptación	Normas UNE-EN de referencia
RESISTENCIA A COMPRESIÓN	CS (Compresion Strength)	Categorías	Valores	Debe ser declarada por el fabricante.	Para todos los morteros para revestimiento diseñados.	Valor de la resistencia a compresión dentro de la categoría resistente declarada.	1015-11:2000/ A1:2007
		CS I	0,4 a 2,5 N/mm ²				
		CS II	1,5 a 5,0 N/mm ²				
		CS III	3,5 a 7,5 N/mm ²				
		CS IV	≥ 6 N/mm ²				

- COMPORTAMIENTO EN SERVICIO

7.4.3.6.- ADHERENCIA AL SOPORTE

El mortero de arcilla, como cualquier otro producto que se utiliza para revoco, debe poder aplicarse sobre soportes de diferentes características o estado de conservación, pero hay que tener en cuenta que la principal dificultad para garantizar una correcta adherencia entre el revestimiento y la superficie a cubrir depende de ciertos factores que pueden afectar esa unión. La base soporte puede ser absorbentes o por lo contrario

²⁶ AFAM ordena los datos y requisitos de la tabla 1 de Clasificación de las propiedades de los morteros endurecidos, de la UNE EN 998-1:2010 Propiedades del mortero endurecido, en su documento Recomendaciones y Pliego de Condiciones para morteros de revestimientos, apartado 1.1.3. Tabla 4. Propiedades, características y requisitos de morteros de revestimiento en estado endurecido. (AFAM, 2012).

demasiado plana o satinada con poca porosidad, nada o poca cohesiva, estar en parte o integralmente disgregada por lesiones en el soporte o ser incompatible químicamente con argamasas.

La resistencia a la tracción y al esfuerzo cortante o rasante lleva implícita la resistencia o capacidad de adherirse de un material sobre la superficie de otro material o elemento constructivo. Los morteros para revestimiento deben tener la capacidad de absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie del soporte. Esta propiedad es, posiblemente, la principal que se debe exigir al mortero de revoco para garantizar la estabilidad del revestimiento. Una buena adherencia impedirá que el mortero se desprenda del soporte como consecuencia de sus variaciones dimensionales debidas a la acción de agentes externos como son la lluvia, las heladas, las variaciones térmicas entre estaciones o variaciones climatológicas frías y otras más extremas de calor. Estas variantes provocan contracciones, dilataciones y movimientos del soporte. Igualmente todo revoco debe soportar los esfuerzos mecánicos y tensionales entre las capas del revestimiento y el soporte. (AFAM, 2006)

El estudio de la aplicación de los morteros de arcilla sobre diferentes tipos de muros o bases soportes, permite establecer parámetros de comparación entre las distintas dosificaciones, ya que la adherencia del mortero no solo depende de su granulometría si no que fundamentalmente importa la naturaleza de la superficie donde se aplica, de su porosidad y rugosidad. Además, hay que sumar otros condicionantes importantes, primero tener en cuenta las recomendaciones que declara el fabricante sobre el tiempo de utilización del producto y, posteriormente, controlar la cantidad de agua que se incorporación a pie de obra cuando se produce el reamasado de la mezcla, ya que puede influir en una modificación de la consistencia y como consecuencia la merma de la capacidad de adherencia al soporte.

Cuando se coloca mortero en estado fresco sobre la superficie del soporte, parte del agua de amasado es absorbida por el muro penetrando en su interior a través de sus poros. El fraguado del mortero ocasiona procesos físico-químicos en su interior, responsables del fenómeno de anclaje con el soporte (AFAM, 2006), por lo que resulta interesante hacer pruebas sobre diferentes tipos de materiales con características particulares para evaluar la respuesta de los morteros de arcillas, sin y con aditivos en las dosificaciones diseñadas para la fase experimental. Estos morteros necesitan una base soporte rugosa para que se garantice el agarre de la capa de enfoscado o revoco base y a su vez que éste tenga grosores finales controlados, con no más de 10 o 15 mm (Castilla, 2004). Por otra parte, si la capa que se aplica es directamente de revoco o de acabado influye no solo el tipo de arcilla en la respuesta a la retracción por secado, sino también el grosor de la capa que se coloca²⁷, ya que el tiempo de fraguado del mortero depende del espesor de la misma y además debe controlarse la reacción que puede presentar en presencia de aditivos como son los diferentes tipos de cales que tienen algunas dosificaciones. Además, normalmente los morteros

²⁷ Ya en el capítulo 6: Revocos de arcilla, se describen los espesores recomendables para cada una de las capas de revoco, que en total no deben superar los 5 mm y, en concreto, la capa de acabado ser < 2mm.

de arcilla necesitan una superficie previamente tratada²⁸ si los materiales del soporte no presentan rugosidad o son muy poco porosos, por lo que se establecen pautas de ejecución sin y con productos fijadores aplicados a la superficie para revestir como criterio para optimizar los resultados de adherencia.

En la norma UNE-EN 1015-12: 2000²⁹, se establece que las muestras de mortero para ensayar se pueden aplicar sobre soportes secos y especificados pudiéndose utilizar ladrillos cerámicos, bloques silicocalcáreos, bloques de hormigón o paneles prefabricados de hormigón. Y cuando los morteros a emplear no especifican un soporte concreto, se pueden usar placas rectangulares de hormigón de alta densidad.

A partir de esta pauta se decide verificar la resistencia a la adhesión de los morteros de arcilla preparados sobre diferentes tipos de soportes eligiéndose para ello varios tipos de superficies de características diversas, y que a su vez se asemejen lo más posible a superficies empleadas como material para construir un muro. Además, se requiere evaluar la adecuación del soporte para ser revestido con revocos de arcilla por lo tanto se eligen como bases a revestir adobes, aplacados de piedra natural, elementos de cerámica cocida y de mortero de cemento. Esta elección permite controlar las variaciones que puede presentar la adherencia del mortero de arcilla según la superficie sobre la que se aplica, el estado del propio mortero, su estabilidad dimensional y la compatibilidad entre la muestra y la superficie revestida.

Si el estudio de la aplicación de los morteros de arcilla se hiciera directamente sobre muros ya ejecutados con diferentes materiales permitiría tener otros parámetros de comparación entre las dosificaciones, como ser diferentes grados de exposición, grados de erosión y durabilidad, para lo que se podría diferenciar si el muro se encuentra en un ambiente cubierto, semicubierto o a la intemperie, cómo puede influir la orientación y las condiciones de una determinada zona climatológica, geográfica o topografía. Muchos trabajos de investigación fijan algunas de estas pautas individualizadas para describir cuantificaciones de una geografía concreta o tipo de construcción³⁰. Hacer un ensayo completo con las variables

²⁸ Lydie Didier-Feltgen en su memoria sobre los avances del programa Leonardo “Les enduits en terre” (Didier-Feltgen, 2005) especifica la importancia de que en el sistemas del revestimiento se busque siempre coordinar la rigidez de las diferentes capas entre ellas, a través de la dosificación de los morteros. Y cuando la base soporte es heterogénea o presente mayor dureza que el revestimiento habrá que colocar un revestimiento de varias capas, donde la primera capa debería ser un fijador a la base soporte mediante el anclaje de material textil o vegetal o una lechada de cal, preferiblemente.

²⁹ UNE-EN 1015-12: 2000 Métodos de ensayo de los morteros de albañilería. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros para revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes

³⁰ En este caso se hace referencia a tesis doctorales como la de Francisco Castilla que experimenta revistiendo con muestras de morteros con paja y estabilizados con sikalatex en muros de adobes, tapia y ladrillo en municipios de Tierra de Campos (CASTILLA, 2004) y la de Alfredo Gonçalves Da Silva Braga (GONÇALVES, 2012) que desarrollan su trabajo en edificaciones del Algarve portugués, en base a un producto concreto y para una zona geográfica específica

programadas llevaría a plantear un trabajo extenso y prolijo solo para la experimentación de la adherencia de estos morteros sobre cerramientos variados³¹.

La dificultad de contar con cerramientos o muros disponibles que cumplieran, desde un comienzo, con este catálogo variado de superficies hace que para este trabajo se tome la decisión de diseñar el ensayo sobre elementos soportes para muestras dentro del ámbito del Laboratorio, como medida de iniciación en las pruebas de adherencia de este tipo de productos. Los elementos soportes a utilizar serán placas de adobes fabricados in situ, placas de piedra natural calcarenita, rasillas de cerámica cocida y baldosas de mortero de cemento con la rugosidad y tratamiento superficial según el caso, por ejemplo hacer muestras sin y con un fijador adecuado como base de los revocos. Las muestras de mortero de arcilla se aplican sobre material limpio, dispuesto para tal fin, como el que se emplea en cualquier obra nueva, desprovisto de huellas de degradación por el paso del tiempo o falta de mantenimiento.

Tabla 7.21

MORTEROS SELECCIONADOS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ADHESIÓN				
preparación del soporte		dosificaciones		
SIN y CON fijador		BF		
CON base fijador		A2	G4	R1
	cal aérea CL	A2 CL 12	G4 CL 12	R1 CL 12
		A2 CL 20	G4 CL 20	R1 CL 20
	cal hidráulica HL	A2 HL 20	G4 HL 20	R1 HL 20
	cal en pasta SPL	A2 SPL 20	G4 SPL 20	R1 SPL 20

TIPOLOGÍA DE BASE SOPORTE	
PRODUCTO	APLICACIÓN
adobe	HORIZONTAL
piedra natural calcarenita	
rasilla cerámica	
baldosa mortero de cemento	
tabique de yeso laminado con acabado de gotelé	VERTICAL

Para este ensayo de resistencia a la adhesión se establece una selección de dosificaciones de los morteros de arcilla después de analizar los valores de resistencia a la compresión de todas las amasadas, cuyas dosificaciones se detallan en la Tabla 7.21.

³¹ Después de hacer un primer intento de aplicación de morteros de arcilla sobre muros de piedra natural existentes, durante el proceso de estudio para la intervención y peritación de una capilla en la Iglesia de San Juan de los Caballeros de Jerez de la Frontera, Cádiz, se constata la necesidad de contar con la preparación previa del soporte para garantizar el buen resultado de un ensayo de este tipo. La posibilidad de la ejecución, control y seguimiento de las muestras implicaría gestiones de proyecto y acciones que precisan un tiempo prolongado de previsión. Por lo tanto, dado los plazos programados para este trabajo se decide trabajar en el Laboratorio.

Se llega a la conclusión que no sería relevante repetir las treinta y siete (37) ya que hay morteros que por su dosificación no marcarían un valor suficientemente diferenciado para la comprobación de los resultados. Se desechan también los morteros de arcillas con aditivos de cemento porque el ensayo consiste en verificar la respuesta de morteros naturales sobre soportes estándares. Por lo tanto, los morteros de arcilla que se aplican son **dieciséis (16)** seleccionados como muestra para analizar su prestancia frente a la adherencia sobre los soportes descritos. El formato de cada muestra de mortero debe ser aproximadamente de unos 300 mm por 300 mm, para poder extraer las cinco (5) probetas circulares del soporte y obtener el valor de la prueba. En la Foto 7.20, se muestran los tipos de soportes seleccionados:

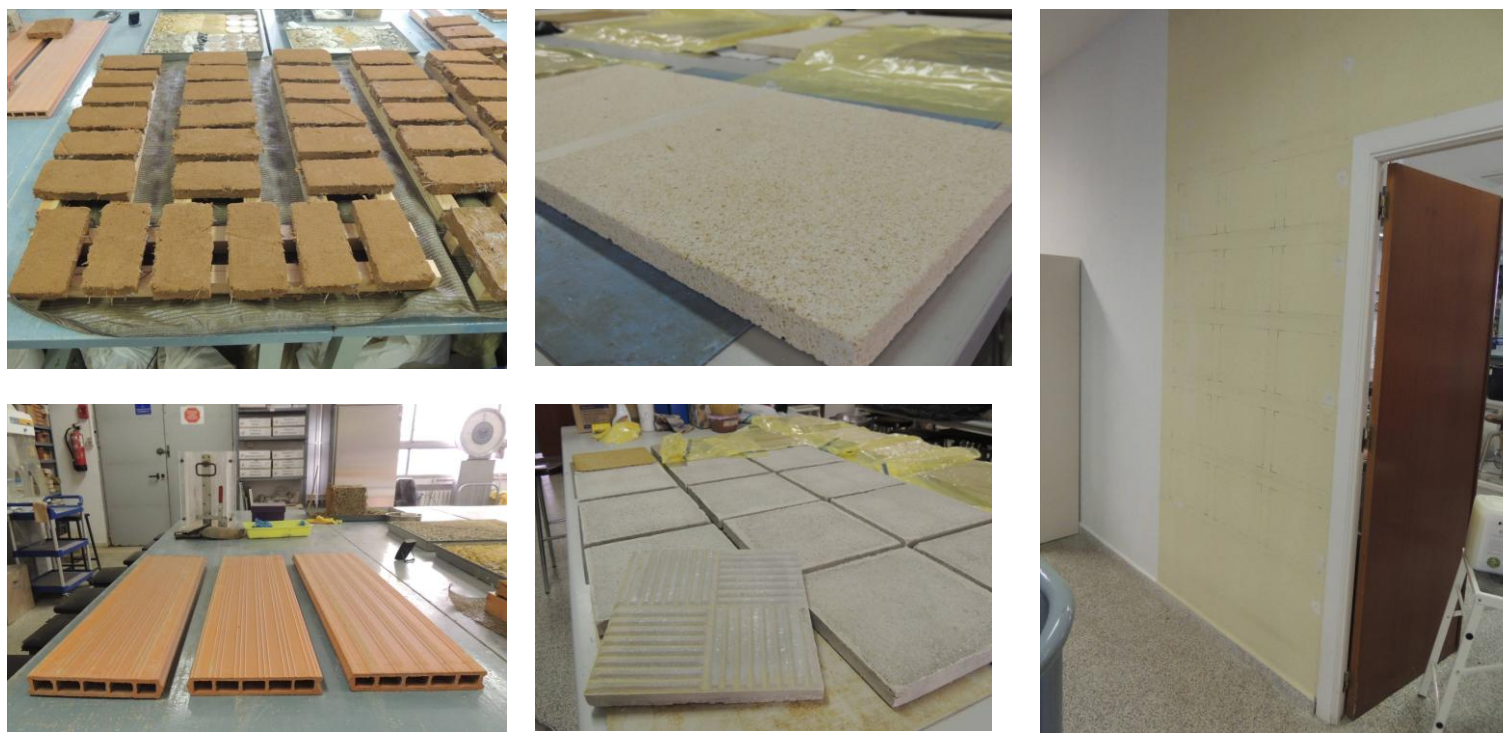


Foto 7.20: Proceso de preparación de adobes, piedra calcarenita, material cerámico, baldosas de morteros de cemento y tabique de yeso laminado como soportes para la aplicación de las muestras de morteros de arcilla.

Los valores de resistencia a la adhesión dependerán fundamentalmente de las características de la base soporte sobre la que se hace el ensayo, que debe estar definida por las características de su material, rugosidad, porosidad y si previamente se aplica un producto fijador para garantizar el agarre entre la primera capa de mortero y el muro.

Es importante definir cuál es la capa de revestimiento que se ensaya (base, revoco o enlucido) ya que cada una debe ejecutarse con un espesor adecuado y puede estar preparada con una dosificación diferente con respecto a la granulometría o tipo de componentes. Se decide que para estos soportes lo que corresponde es hacer una capa de revoco de fijación con otra capa de acabado que en total no superen los 5 mm. El revestimiento definitivo es liso para poder marcar con la anilla de acero las cinco (5) probetas circulares de Ø 50 mm que debe tener cada muestra para la realización del ensayo.

Según la norma de referencia UNE-EN 1015-12: 2000, estos datos deben estar especificados y ser facilitados por el fabricante y deben servir de parámetro de comparación para analizar la respuesta de diferentes morteros. En la Tabla 7.22 se detallan valores de comparación.

Tabla 7.22

TABLA COMPARACIÓN de DATOS de REFERENCIA					
ENSAYO	Normativa UNE-EN 1015-12: 2000	Empresa ECOCLAY	Referencia adherencia morteros de cal (Santiago, 2014)	Referencia adherencia morteros de albañilería (Cabrera, 1995)	Referencia adherencia morteros de mampostería (Rodríguez, 1999)
RESISTENCIA A LA ADHESIÓN (N/mm ²)	Valores se debe declarar el fabricante	0.10	0.11	0.45	0.20

Los datos que se usan como referencia son similares y se obtienen de una información solo justificada por el cumplimiento de normas generalizadas para productos industrializados de la construcción. Si se analizan los requisitos de la norma UNE deja al criterio del aplicador o control de la dirección técnica de la obra la elección del producto y las recomendaciones de ejecución de las muestras, cuestión lógica dada la variedad de opciones que se existen en el mercado con productos bastante diferentes para revestimientos.

Por lo tanto, se considera oportuno establecer una metodología de análisis fundamental para conocer y evaluar mejor la resistencia a la adhesión de los morteros de arcilla sobre diferentes superficies. En concreto, se necesita establecer pautas mínimas de aplicación y control que sirvan para tener valores de referencia, que permitan un catálogo de recomendaciones a tener en cuenta según el tipo de producto, si esta

estabilizado o no, la superficie que se reviste o los condicionantes más relevantes a tener en cuenta, ampliando conceptos que ya se fijan en “Règles professionnelles pour la mise en oeuvre des enduits sur supports composés de terre crue” (Reglas profesionales para la puesta en obra de revestimientos sobre soportes compuestos de tierra cruda) (FFB, 2012), ver apartados 6.3 y 6.4 del capítulo 6 Revocos de arcilla: producto natural.

En la Tabla 7.23 se detalla el extracto de las publicaciones de AFAM (AFAM, 2012) donde se concreta que el valor de ensayo debe ser mayor al declarado por el fabricante para garantizar prestancia al mortero de revestimiento y, además, durante la prueba importa verificar la forma de rotura que se produzca en el ensayo.

Tabla 7.23

Extracto de AFAM Tabla 3: Propiedades, características y requisitos de morteros de revestimiento en estado fresco					
PROPIEDAD	CARACTERÍSTICAS/ OBSERVACIONES	REQUISITO			
		Condición o declaración	Campo de aplicación/uso	Criterio de aceptación	Normas UNE-EN de referencia
ADHESIÓN (N/mm ²)	Para los morteros para revestimiento excepto para el mortero monocapa (OC).	Debe ser declarada por el fabricante. <i>Y el valor resultante en la prueba debe ser mayor a lo declarado</i>	Para los morteros para revestimiento excepto para el mortero monocapa (OC).	Mayor que el valor declarado. Ha de tenerse en cuenta, además, la forma de rotura (FP).	1015-12:2000 <i>Según velocidad de carga valores de 0,2 a 1</i>

Para aplicar este criterio y ampliar datos y valores de análisis se considera oportuno empezar con las dosificaciones de este trabajo colocadas sobre las superficies diseñadas. Para obtener los valores de resistencia a la adhesión se mantiene el criterio de la norma de referencia con respecto a la clasificación del tipo de rotura de la probeta extraída de la muestra que debe cumplir con alguna de las tres pautas expresadas en la Tabla 7.24:

Tabla 7.24

REFERENCIA TIPO DE ROTURA EN RELACIÓN CON RESISTENCIA A LA ADHESIÓN		
a	Rotura adhesiva, igual a resistencia a la adhesión (la probeta se despegó totalmente al soporte)	
b	Rotura cohesiva, resistencia a la adhesión > valor ensayo	La probeta rompe en la sección media de su espesor
c		La probeta adherida totalmente al soporte lo arranca

7.4.3.7.- DURABILIDAD: Resistencia a la intemperie

El desgaste por exposición a la intemperie no es una prueba reglamentada para morteros de tierra cruda. Se ha ejecutado en varios trabajos³² como mecanismo de verificación del comportamiento de los morteros de tierra y su resistencia al paso del tiempo, la acción erosiva del aire, el viento, la lluvia y cambios térmicos al estar expuestos al exterior. Aunque los morteros de arcilla preparados y ensayados no están diseñados para su colocación en muros al exterior, resulta interesante poder analizar el comportamiento y durabilidad de las dosificaciones que se emplean en este trabajo de investigación. (Foto 7.21)



Foto 7.21: Vista de las 37 probetas realizadas en el Laboratorio para la prueba de durabilidad por desgaste y su colocación en la estantería de exposición en la terraza donde se dejan expuestas doce meses.

³² Los datos más recientes lo publica Gernot Minke en su publicación Manual de construcción con tierra cruda (Minke, 2001) ya hace referencia a la prueba de resistencia a la erosión por lluvia y congelamiento con probetas tipo placas de 5 cm de espesor colocadas a la intemperie durante tres años. También Francisco Castilla, en su tesis, hace una prueba con placas tipo baldosas cuadradas expuestas durante 6 meses al exterior sobre un bastidor metálico con 45° de inclinación y orientación sur (Castilla, 2004).

Para esta prueba las probetas se colocan en una terraza expuestas totalmente a la intemperie bajo las siguientes condiciones de entorno: en ambiente urbano dentro de la ciudad de Sevilla, en un edificio ubicado en la calle Virgen de Luján en el Barrio de los Remedios que se sitúa a media distancia entre los dos brazos del río Guadalquivir y con dos parques en cada extremo de la vía. La terraza está localizada en la sexta planta en la fachada trasera del edificio, con orientación suroeste, y está rodeada de edificios, todos de menor altura. Las condiciones de exposición de esta terraza hacen que se encuentre libre de obstáculos en más de 1 km a la redonda, a una altura aproximada de 24 metros.

Se tendrá en cuenta el grado de exposición de las probetas para controlar el grado de retracción que sufren con el paso del tiempo y si la exposición al exterior provoca pérdidas de masa por erosión, presentan eflorescencias o roturas por efecto de las inclemencias del tiempo. En esta prueba se utilizan treinta y siete (37) probetas, una pieza por cada una de las dosificaciones diseñadas, de forma cilíndrica de 160 mm de diámetro aproximado y ± 15 mm de espesor. Para lograr que todas las piezas tengan una exposición homogénea a la radiación directa del sol, el efecto del viento y la lluvia, se diseña una estantería metálica con cuatro baldas de apoyo para las probetas con una inclinación de 60°, además, se establece que la toma de datos de peso y dimensiones de diámetro y espesor de cada probeta se debe realizar cada 30 días y debe durar como mínimo 9 meses para poder tener valores comparables al menos en tres estaciones en el año.

-Valores de medios de referencia

Los valores de referencia, Tabla 7.25, solo son orientativos ya que en ningún caso existe una prescripción para esta prueba, solo referencias a trabajos que adoptan el mismo procedimiento de exposición a la intemperie (Castilla, 2004)

Tabla 7.25

TABLA COMPARACIÓN de DATOS de REFERENCIA		
ENSAYO	Referencia normativa alemana (Ecoclay)	Castilla, 2004
ABRASIÓN O DESGASTE (N/mm ²)	0.26	Solo referencia a la pérdida de masa por periodo de tiempo

7.4.3.8.- COLORIMETRÍA

En los revestimientos la estética que da el color de los morteros influye directamente en la apreciación sensitiva, en general, y visual, en particular, que el usuario tiene del espacio. La percepción que tiene el observador del color en una pared se origina, como en cualquier otro elemento u objeto, por una fuente de luz.

La luz es una energía que se propaga en forma de ondas electromagnéticas, la longitud de onda y la distancia a la que este el observador influye en el resultado del color que se aprecia, como sensación visual que se origina por la estimulación de la retina del ojo. La forma de medir el color permite definir que ondas son absorbidas por un objeto y cuales se reflejan para que el ojo humano las capte y las interprete como colores según las longitudes de ondas correspondientes. Dado que cada color depende de la impresión o experiencia personal del observador, no se puede controlar o hacer colores estándares y uniformes, además, también depende de la fuente de luz que se considere, natural o artificial y el ángulo de incidencia. Cada color tiene un espectro de ondas según su longitud y por eso distinguimos la gama básica de colores rojos, naranjas, amarillos, verde, azul y violeta como colores básicos.

La Comisión Internacional de Iluminación, conocida como CIE³³, en el año 1976, genera un sistema de medición del color uniforme conocido como “Espacios de color ($L^* a^* b^*$) o espacio CIELAB”³⁴ Y en el 2004, publicó un informe técnico de colorimetría denominado CIE 15 (2004) donde se dan las recomendaciones para la medición de color y publica los valores de distribución espectral para cada tipo de iluminante y para cada observador que son utilizados en los cálculos de color.

En el sistema de medición CIELAB, se expresa la luminosidad como L^* (claro u oscuro, va de 0 (negro) a 100 (blanco); a^* y b^* indican la orientación del color en dos ejes de coordenadas donde a^* representa la variación entre rojizo a verdoso, y b^* las de amarillento a azulado. Para la determinación de los espacios de color $L^* a^* b^*$ se tienen ecuaciones donde influyen las coordenadas y alturas que se estimen dentro de un espectro, lo que permite especificar estímulos de color en un espacio tridimensional. Aquellos casos en los que a^* y b^* son de valor cero, son acromáticos y L^* representa la escala acromática de grises que va de blanco al negro. (Figura 7.1 con gráficas)

³³ CIE iniciales de la Comisión Internacional de Iluminación en su designación en francés: Commission Internationale de l'Éclairage. Es una organización, sin animos de lucro, dedicada a la cooperación internacional y al intercambio de información entre sus países miembros sobre todas las materias relacionadas con la ciencia y el arte de la iluminación.

³⁴ CIELAB, en realidad nombre de las siglas CIE $L^*a^*b^*$, como síntesis del espacio tridimensional que permite especificar estímulos del color (<http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab> Acceso 30/06/2015).

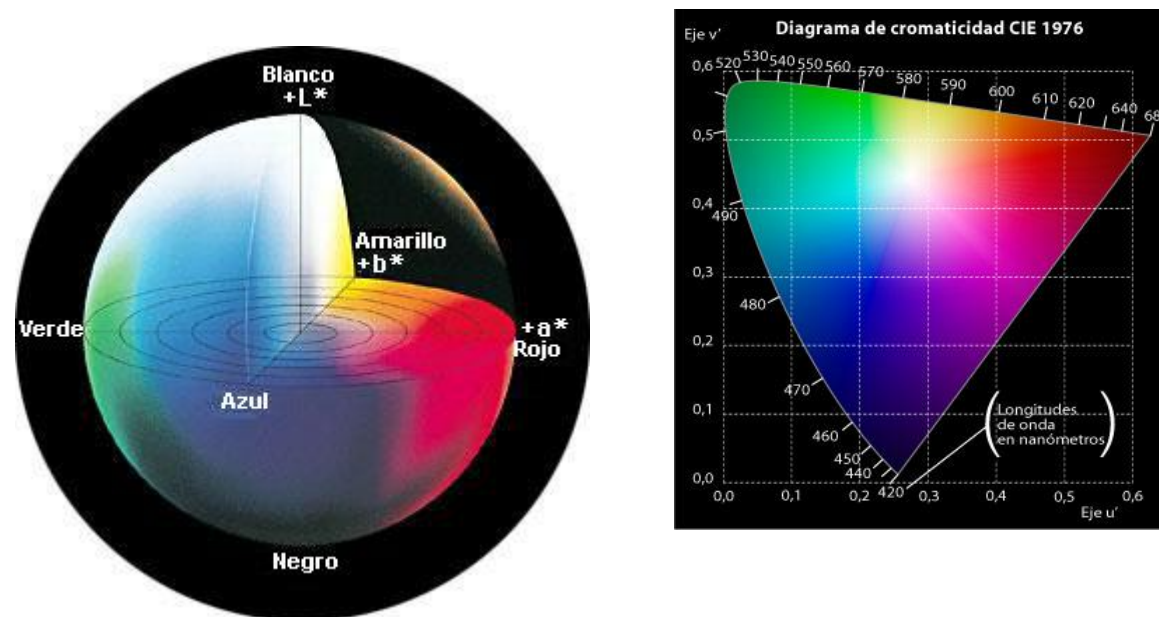


Figura 7.1: Gráfica del sistema espacio de color CIELAB donde se diferencian las coordenadas para obtener los diferentes tonos (<http://www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part1/07.html>. Acceso 30/06/2015)

Para la medición del color es necesario contar con dispositivos denominados colorímetros y espectrofotómetros, la diferencia entre ellos es que el colorímetro está diseñado con tres filtros de color rojo, verde y azul para seleccionar la longitud de onda y el haz de luz y los espectrofotómetros están diseñados con una red de difracción para separar el haz de luz en todos sus componentes. (<http://www2.konicaminolta.eu>. Acceso: 30/06/2015)

Se hace la prueba de medición de color para las treinta y siete (37) dosificaciones de morteros de arcilla con intención de evaluar en qué medida el aporte de aditivos, como las diferentes cales y un conglomerante estabilizante como el cemento, provocan o no la variación del color original del mortero sin aditivos. Este análisis puede influir en la decisión de elección del producto, justificando motivos decorativos o dando la opción de una gama de tonos más amplia, ya sea aclarando el mortero u oscureciéndolo y las variantes o combinaciones que se pueden obtener al agregar ciertos tipos de aditivos o estabilizantes.

8 – EXPERIMENTACIÓN

8.1.- PROPUESTA/DISEÑO DE LA FASE EXPERIMENTAL

La fase experimental se considera el proceso más importante y complejo del trabajo de esta investigación destinado a la comprobación y verificación de la aplicabilidad de los morteros de arcilla preparados como producto de revestimientos de calidad en el ámbito de la construcción. Se articula y plantea en cumplimiento con las normativas vigentes en España, básicamente las que establecen los requisitos mínimos que deben cumplir los revocos y enlucidos, partiendo de la UNE-EN 998-1¹ aunque también se tienen en cuenta, como base de referencia, otras normas UNE-EN para diseñar los ensayos que pueden ser aplicables a la caracterización de los morteros de arcilla preparados.

Cada ensayo que se propone se identifica con la correspondiente y específica norma UNE-EN que sirve como base para los criterios empleados en la planificación del programa experimental. Por lo tanto, en cada apartado de este capítulo se describe el ensayo realizado, la norma UNE de referencia y se detalla todo el proceso que se sigue para su realización para contar con los requisitos suficientes que permitan constatar si, para este tipo de productos, se ha podido mantener el mismo criterio establecido por la correspondiente norma o si se considera realizar o proponer correcciones o alguna variación en el proceso con respecto al texto de la misma.

Con este criterio, también se emplean otros documentos de referencia que permiten obtener valores medios de cálculo como condición de verificación y análisis de cada uno de los ensayos y los diferentes resultados posibles. Así pues para estos valores medios de reseña, tal como queda detallado en el capítulo de Metodología, se utilizan los requisitos que publican tanto AFAM (Asociación de Fabricantes de Morteros) (AFAM, 2012), como Craterre, algunas Normas DIN alemanas que corresponden con la relación de los ensayos que se describen. Además, algunos valores son facilitados por el fabricante, en este caso Ecoclay, a través de fichas que se elaboran para control del producto en el laboratorio de la propia empresa.

¹ Ya se menciona en otros capítulos que las especificaciones de los morteros para albañilería, en concreto para los morteros para revocos y enlucidos, se definen en la UNE-EN 998-1: 2010.

8.1.1.-Determinación de los materiales a estudiar

Los datos que se obtengan de esta fase experimental basada en la utilización de un producto concreto, los morteros de arcillas preparados sin y con aditivos, permitirán establecer parámetros de análisis entre variables con las que se puede emplear un mismo producto. De todos los morteros de arcillas que se comercializan en el mercado europeo como productos preparados y naturales, sin adiciones químicas, cuyo listado de principales empresas, marcas y procedencias se hace referencia en el capítulo de metodología, se elige un único producto base para todos los ensayos: los morteros de arcilla de la marca Ecoclay². La importancia de la selección de estos morteros radica, principalmente, en que es un producto predosificado que se obtiene en estado seco en bolsas de formato estándar para los materiales de construcción con 25 kg de contenido, fácil de transportar, acopiar y manipular por el personal de cualquier tipo de obra de construcción. Además, es un producto que se obtiene íntegramente en España y que, aunque se presenta en diferentes variedades de color y características de dosificación, proceden de una única zona de explotación, donde la arcilla se extrae de la misma cantera³ y, que a su vez, por su localización en la provincia de Teruel se pueden transportar con facilidad con importante economía de medios. Estos morteros se obtienen mediante un proceso de predosificación industrial controlada por una de las principales empresas de España dedicadas a la producción de materia prima arcillosa para la construcción, especialmente para productos cerámicos, cuya actividad actual apuesta también por el desarrollo y la investigación en el empleo de productos naturales para la construcción.

Como se expone en capítulos anteriores, los morteros de arcilla preparados que se emplean en la fase experimental son en concreto cuatro (4) de la gama de doce (12) que comercializa la empresa Ecoclay; los cuatro tipos de morteros que se eligen son: el mortero base fibra (BF) que, como su nombre indica, es el producto para la realización de la capa base del revestimiento ya que incorpora fibras de paja en su dosificación, y los otros tres (3) que son morteros para revoco y enlucido que coinciden con los tres principales colores de tierras diferentes (amarilla, gris y roja) y además, cada color refleja la predominancia de un tipo de mineral en su composición mineralógica, tal como se reseña en el capítulo de metodología donde se argumentan las justificaciones para su selección.

² Se puede consultar la página de la empresa que describe toda la gama de productos de morteros y pinturas de arcillas que comercializan para revestimientos y acabados de paredes <http://www.ecoclay.es>

³ La cantera de explotación de la Empresa Minera Sabater, de la que proceden todas las arcillas para la fabricación de los morteros de arcilla preparados de Ecoclay está ubicada en Crivillén, provincia de Teruel (su ubicación concreta se detalla en el plano de España del capítulo de metodología).

Para la identificación de los cuatro (4) morteros que sirven de base patrón en el proceso de diseño de los ensayos se mantiene la designación inicial de las nomenclaturas que se han descrito en el estudio de los doce morteros que comercializa la empresa Ecoclay, por lo que se seleccionan los morteros definidos con las siguientes siglas: A2 para el de color amarillo, G4 para el gris y R1 para el rojo. En el siguiente esquema se sintetiza la selección de los productos con los que se trabajara en esta fase:



La definición del número y tipo de morteros posibilita una de las cuestiones más importantes en este tipo de trabajo de caracterización que es la posibilidad de determinar las dosificaciones totales y establecer, en el caso de los morteros con aditivo, qué porcentajes de conglomerante tendrán las diferentes amasadas. De esta forma se tiene controlada la edad de las probetas que se van a fabricar y se establece el plan de ensayos de manera rigurosa en el tiempo. Los morteros utilizados, al tener diferentes características mineralógicas, de color y de dosificación nos permiten, de partida, contar con variables que permitan resultados comparables y de los que se esperan obtener conclusiones válidas para una mejor definición de propiedades y características de empleo como revestimientos y protección de muros en los edificios.

Además de ensayar los morteros de arcilla preparados seleccionados tal como se comercializan actualmente en el mercado de la construcción, sin aditivo ninguno, se establecen una serie de dosificaciones con cuatro tipos de aditivos diferentes. Se utilizan, por un lado, tres diferentes tipos de productos de cal del mercado local, es decir, del ámbito andaluz buscando que sean de alta calidad y pureza. Para ello se decide emplear cal aérea (CL-90), cal hidráulica (HL-3.5) y cal en pasta (SPL-90), productos procedentes de los hornos de cal de la empresa de Gordillos Cales de Morón de la Frontera, provincia de Sevilla. Para cada uno de los tipos de mortero de arcilla seleccionados con aditivos de cal se adicionan a la mezcla tres tipos de formulaciones: 4%, 12% y 20% por volumen de mortero y de cada uno de los tipos de cal, como se indica en el capítulo de Metodología.

Por otro lado, se establece sumar una pauta más para ensayar muestras con una dosificación estándar de mortero de cemento portland CEM II⁴, relación 1:6 (ANCADE,2012) lo que se traduce en un 12% de aditivo en la masa y para la que, en adelante, se usa la nomenclatura CEM; y otras con cemento portland CEM II y cal aérea 90, como mortero bastardo en adelante CEM+CL, donde la proporción habitual que se utiliza en construcción para este tipo de morteros es de 1:1:6 ⁵ (siendo la cantidad de cemento de 12% + de cal aérea 12% + resto de áridos o mortero). Se dosifica con estos valores para contar con dosificaciones estabilizadas de uso estándar y tener valores comparables entre combinaciones de materiales únicamente naturales y mezclas de materiales naturales con productos industrializados. Se pretende establecer un diseño de ensayos que permita comparar resultados de respuesta de los morteros diseñados frente al agua, resistencia mecánica y de servicio como son la adherencia al soporte, la durabilidad al desgaste y el color del producto y su durabilidad.

Todos los productos, tanto los morteros de arcilla preparados como las cales en polvo, se adquieren y transportan empaquetados en bolsas de papel de 25 kg desde su origen, es decir, desde los puntos de obtención y fabricación; los morteros de arcilla proceden de la planta productora de Crivillén, provincia de Teruel, donde Ecoclay tiene su centro de producción y distribución, y las cales aéreas e hidráulicas en estado anhidro, secas en polvo se obtienen de Las Caleras de Morón de la Frontera, provincia de Sevilla. También de los hornos de Gordillos Cales de Morón de la Frontera, se compra la pasta de cal envejecida que se suministra en bidones de plástico de 25 kg.

8.1.2.- Diseño de dosificaciones de mortero y designación de probetas

Para poder completar el diseño del programa experimental se organiza un listado de las diferentes formulaciones que se hacen por tipo de mortero y color de arcilla, con su respectiva designación, que será necesario repetir e identificar en cada uno de los ensayos. Por lo que la designación de todas las probetas refleja el criterio de identificación empleado para la diferenciación de los productos, siendo las nomenclaturas empleadas por amasadas tal como se refleja en la Tabla 8.1. En primera instancia se referencia el tipo de mortero, por ejemplo, el mortero de arcilla roja es “R1”, a continuación se agrega la descripción del tipo de aditivo de esa amasada, si lo lleva, en el caso de contener cal aérea 90

⁴ El cemento utilizado es el CEM II/B-L 32,5 N que corresponde a cemento portland con un contenido entre 6-20 % de caliza que tiene un contenido en carbono orgánico total inferior al 0,5% y resistencias a compresión mínimas de 32,5 N/mm² a la edad de 28 días y 16 N/mm² a los 7 días, según norma UNE-EN 197-1: 2011 y clasificación de la Instrucción para la recepción de Cementos RC-08, Ministerio de Fomento de España.

⁵ Las dosificaciones que se definen como estándares para la adición de cemento portland para morteros estabilizados o los denominados **morteros de cemento + áridos** son las de 1:6, 1:4 o 1:3 según el uso y la función que deba cumplir el revestimiento y para morteros bastardos o morteros mixtos de cal + cemento + áridos son 1:1:6 o 1:2:9. Estas formulaciones dadas como referencia tanto en el CTE como en las reglamentaciones de uso de morteros para la construcción, tanto de cemento como de cal, de AFAM -Asociación Fabricantes de Morteros- y ANCADE -Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España) también se definen basadas en la experiencia de la autora como docente y profesional en ejecución de obras.

con un “CL” y, a continuación como tercer carácter de identificación, el dígito del porcentaje correspondiente a la dosificación del aditivo por ejemplo “12” siendo un 12% de contenido de cal, además, en cada probeta se agrega un cuarto dígito con el número de la respectiva probeta, si se trata la tercera probeta con un “3”. Resultando para el ejemplo dado la designación “R1 CL12 - 3”. Cada tipo de mortero por color cuenta con doce (12) tipo de amasadas de morteros diferentes y teniendo en cuenta que siempre se ensaya también el mortero de base fibra (BF), en total las amasadas que se hacen para cada uno de los ensayos cuenta con un mínimo de 37 tipos diferentes de dosificaciones. (Foto 8.1)

Según los datos facilitados por el fabricante (www.ecoclay.es, 2013) los morteros de arcillas preparados sin aditivos necesitan un 24 % de agua para la preparación y el amasado de la mezcla, pero este porcentaje varía cuando las dosificaciones contienen aditivos. Por lo tanto, para establecer la cantidad de agua por amasada se detallan las variaciones que se obtienen para cada tipo de mezcla al hacer las pruebas de consistencia. Por lo tanto, en la Tabla 8.1 se reflejan también los porcentajes de agua por dosificación para utilizar en todos los ensayos.

Tabla 8.1

DOSIFICACIONES DE LOS MORTEROS ENSAYADOS				
Nº amasadas	Designación	Composición de mortero	% dosificación de aditivo	% de agua
1	A2	arcilla sola	-	24
2	A2 CL 4	arcilla + cal área 90	4	30
3	A2 CL 12		12	30
4	A2 CL 20		20	32
5	A2 HL 4	arcilla + cal hidráulica 3.5	4	30
6	A2 HL 12		12	32
7	A2 HL 20		20	30
8	A2 SPL 4	arcilla + cal en pasta 90	4	20
9	A2 SPL 12		12	20
10	A2 SPL 20		20	20
11	A2 CEM	arcilla + cemento	12	30
12	A2 CEM CL	arcilla + cemento + cal aérea 90	12 + 12	32

DOSIFICACIONES DE LOS MORTEROS ENSAYADOS				
Nº amasadas	Designación	Composición de mortero	% dosificación de aditivo	% de agua
13	G4	arcilla sola	-	24
14	G4 CL 4	arcilla + cal área 90	4	28
15	G4 CL 12		12	30
16	G4 CL 20		20	30
17	G4 HL 4	arcilla + cal hidráulica 3.5	4	28
18	G4 HL 12		12	32
19	G4 HL 20		20	32
20	G4 SPL 4	arcilla + cal en pasta 90	4	22
21	G4 SPL 12		12	31
22	G4 SPL 20		20	19
23	G4 CEM	arcilla + cemento	12	30
24	G4 CEM CL	arcilla + cemento + cal aérea 90	12 + 12	32

DOSIFICACIONES DE LOS MORTEROS ENSAYADOS				
Nº amasadas	Designación	Composición de mortero	% dosificación de aditivo	% de agua
25	R1	arcilla sola	-	26
26	R1 CL 4	arcilla + cal área 90	4	32
27	R1 CL 12		12	36
28	R1 CL 20		20	38
29	R1 HL 4	arcilla + cal hidráulica 3.5	4	32
30	R1 HL 12		12	38
31	R1 HL 20		20	38
32	R1 SPL 4	arcilla + cal en pasta 90	4	30
33	R1 SPL 12		12	34
34	R1 SPL 20		20	28
35	R1 CEM	arcilla + cemento	12	34
36	R1 CEM CL	arcilla + cemento + cal aérea 90	12 + 12	36
37	BF	tierra sola + fibra de paja	-	24



Foto 8.1: Designación de probetas

8.2.- PLAN DE ENSAYOS

Para poder determinar el plan de ensayos se deben definir las pruebas a desarrollar para la caracterización de los morteros de arcilla y establecer las cantidades concretas de muestras o probetas que hay que fabricar para cada una de las pruebas, básicamente para cuantificar tiempos y volumen de trabajo.

8.2.1 Planificación

A partir de la formulación de las dosificaciones de los morteros de arcilla que se van a utilizar, se diseña el plan de ensayos de la fase experimental para el que se distinguen los dos estados del producto diferenciando así las muestras que deben hacerse con mortero en estado fresco de las que se ensayan con probetas o muestras en estado endurecido. El estado de las probetas condiciona la programación del tiempo de fabricación, curado y realización de los ensayos.

Los ensayos que se establecen para el desarrollo de esta fase permitirán evaluar, por una parte, el comportamiento frente al agua estableciendo como básicas el control de la estabilidad dimensional y la respuesta de los morteros a la absorción por capilaridad del agua y la permeabilidad al vapor de agua. Por otra parte, se definen las características de compacidad y resistencias mecánicas a la flexotracción y a la compresión. Como tercer factor a tener en cuenta se establece el estudio de la respuesta al comportamiento de servicio del producto, su resistencia a la adhesión a diferentes tipos de soportes, la durabilidad al desgaste en un ambiente exterior y cómo puede influir en el color final del mortero la adición o no de productos como la cal o el cemento en diferentes proporciones. En la Tabla 8.2 adjunta se detalla la previsión de muestras y probetas por tipo de ensayos y dosificaciones diseñadas estableciendo el número total de las piezas fabricadas al finalizar la fase experimental.

Para cada ensayo se deben hacer probetas o muestras con un formato específico por lo que, inicialmente, se decide un número mínimo de probetas por cada una de las pruebas, y tal como se ha mencionado anteriormente, se establece un orden de ejecución para poder realizarlas con los morteros en estado fresco y organizar a continuación los períodos de endurecimiento y curado de todas las probetas que lo necesiten, en general con un máximo de 28 días, para adecuarlo a las posibilidades de ejecución del ensayo correspondiente con el mortero en estado endurecido.

La ejecución de las treinta y siete (37) dosificaciones de los morteros de arcilla para cada uno de los ensayos propuestos supone una considerable cantidad de probetas para toda la fase experimental, ya que si se suman todos los valores de las pruebas programadas, como se aprecia en la Tabla 8.2, resulta un total de 2331 unidades. Esta cantidad permite calcular el volumen total de material a emplear y, aunque hay probetas que pueden utilizarse en ensayos no destructivos para luego formar parte del resto de probetas en conjunto para pruebas destructivas, no se detraen de la previsión por si hubiera que repetir algún ensayo.

Tabla 8.2

PROGRAMACIÓN de ENSAYOS para EJECUCIÓN de MUESTRAS y PROBETAS														
Designación de las amasadas	Tipo de Dosificación	Ensayo inicial		Ensayos a realizar a los 28 días									Total de probetas por dosificación	
		Mortero en Estado Fresco		Mortero en Estado Endurecido										
		Consistencia	Densidad aparente	COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA			COMPORTAMIENTO MECÁNICO			COMPORTAMIENTO DE SERVICIO				
				Estabilidad dimensional	Absorción por capilaridad	Permeabilidad al vapor de agua	Compacidad: medición por ultrasonido	Resistencia a flexotracción	Resistencia a compresión	Resistencia adhesión a diferentes soportes	Durabilidad. Resistencia a la intemperie	Colorimetría		
A2	Mortero Arcilla	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
A2 CL4	Mortero Arcilla + Cal aérea	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
A2 CL12		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
A2 CL20		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
A2 HL4	Mortero Arcilla + Cal hidráulica	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
A2 HL12		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
A2 HL20		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
A2 SPL 4	Mortero Arcilla + Cal en pasta	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
A2 SPL12		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
A2 SPL 20		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
A2 CEM	Mortero Arcilla + Cemento	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
A2 CEM CL		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
G4	Mortero Arcilla	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
G4 CL4	Mortero Arcilla + Cal aérea	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
G4 CL12		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
G4 CL20		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
G4 HL4	Mortero Arcilla + Cal hidráulica	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
G4 HL12		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
G4 HL20		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
G4 SPL 4	Mortero Arcilla + Cal en pasta	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
G4 SPL12		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
G4 SPL 20		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
G4 CEM	Mortero Arcilla + Cemento	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
G4 CEM CL		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
R1	Mortero Arcilla	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
R1 CL4	Mortero Arcilla + Cal aérea	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
R1CL12		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
R1 CL20		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
R1 HL4	Mortero Arcilla + Cal hidráulica	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
R1 HL12		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
R1 HL20		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
R1 SPL 4	Mortero Arcilla + Cal en pasta	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
R1 SPL12		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
R1 SPL 20		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
R1 CEM	Mortero Arcilla + Cemento	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
R1 CEM CL		2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
BF	Mortero Arcilla + Paja	2	2	3	9	10	3	9	18	5	1	1	63	
Total de probetas por tipo de ensayo		74	74	111	333	370	111	333	666	185	37	37	2331	

Para poder establecer el criterio de organización de la planificación de todo el proceso experimental, cuya duración se prolonga durante más de dos años, se realiza un calendario personalizado con el personal técnico del Laboratorio de Construcciones Arquitectónicas, teniendo en cuenta que el laboratorio es un ámbito docente donde además de tareas de investigación se imparten clases de grado y máster. Con este documento, que se diseña como un archivo y con el programa Excel, se produce el intercambio de información y comunicación entre el personal auxiliar técnico del Laboratorio y la doctoranda, lo que permite el ajuste de fechas y prever la disponibilidad de recursos materiales para la ejecución de cada serie de probetas según las necesidades de cada proceso experimental, lo que obliga además a la organización de espacio para acopio de material, para el curado de las probetas e instrumental de apoyo para la realización del correspondiente ensayo. Por otro lado, también se especifican en este documento los periodos de control establecidos según las normas utilizadas como referencia además de los que se diseñan en concreto para este trabajo de investigación y el seguimiento del proceso de cada prueba para cumplimentar la toma de datos.

8.2.2.-Preparación de muestras y probetas

Cada ensayo necesita que se determine el volumen total de componentes necesarios para la amasada de mortero correspondiente, que coincide con cada uno de los tipos de dosificaciones diseñadas, y, además, hay que tener en cuenta las dimensiones y tipo de probeta que se debe fabricar para cada prueba.

En el proceso de preparación de las amasadas de morteros de arcilla, antes que nada hay que seguir las recomendaciones del fabricante (Ecoclay) en cuanto a tiempos de preparación de las muestras y dosificación de agua, esta última cuestión ya mencionada en párrafos anteriores. Además, como se trata de mezclas de morteros para revocos, se decide establecer los criterios recomendados por las normas UNE-EN 1015-2⁶ y la UNE-EN 998-1:2010⁷ aunque las prescripciones que las normas de referencia describen sean en concreto para los morteros de cemento o de cal.

⁶ UNE-EN 1015-2:1999 y UNE-EN 1015-2:1999/A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo

⁷ Ya se ha descrito esta norma básica en capítulos anteriores pero se recuerda que es UNE-EN 998-1:2010 Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido

La preparación del amasado de los morteros de arcilla, aunque se realice en el ámbito de un Laboratorio de Construcción, solo necesita disponer del equipamiento e instrumental común que se emplearía en cualquier tipo de obra de construcción, es decir, contar con un recipiente para colocar la dosificación necesaria de mezcla o de mortero en seco, que según la cantidad puede ser una espuerta o un recipiente para pocos kilos de material, y una batidora eléctrica que permita realizar el batido de la masa con el porcentaje de agua adecuado para conseguir una mezcla homogénea y plástica. Como condición sine qua non y establecida claramente en las indicaciones del propio fabricante, esta mezcla debe prepararse como mínimo 3 horas antes de su aplicación pudiendo incluso hacerse con varios días de anticipación, conservándose durante ese periodo de tiempo en condiciones de humedad relativa del aire mayores al 90% y una temperatura ambiente no mayor a 22°C.

Obviamente la cantidad necesaria de producto a preparar condicionará el tamaño de los objetos a utilizar y la zona de acopio para poder dejar la amasada preparada con cierto tiempo de previsión. Este factor es un condicionante de los que se mencionaba en párrafos anteriores para la organización del calendario de actividades dentro de la investigación. En este caso, la mayoría de las dosificaciones de cada una de las amasadas han rondado entre los 2 a 5 kg, cumpliendo con el requisito definido en UNE-EN 998-1:2010⁸ en que la cantidad de mortero para una muestra se debe tomar a partir de un lote de mortero inferior o igual a 10 m³.

En todos los casos, las diversas dosificaciones de los productos, tanto los morteros como los productos en seco y en polvo (cales CL y HL y cemento CEM), se preparan pesando todos los componentes en balanza calibrada de 0.01 gr de precisión, con previsión unos días antes de la ejecución del ensayo correspondiente para ordenar el espacio de acopio de los materiales y, sobre todo, fijar adecuadamente los porcentajes de cada uno de los componentes de la dosificación en diversos recipientes, organizándolos con etiquetas para que en el momento de la ejecución de la amasada no se cometan errores de cálculo ni de combinaciones de productos. Solo en el caso de la cal en pasta (SPL), al ser un producto que debe permanecer almacenado totalmente cubierto por una capa de agua de cal y está disponible en bidones de plástico, las proporciones adecuadas para la dosificación de los morteros que la incorporan en su composición se pesan el mismo día de hacer la amasada, para asegurar una utilización inmediata y evitar la pérdida de humedad por evaporación. Igualmente estas amasadas se preparan como mínimo con 3 horas de antelación a la aplicación de los productos tanto en los moldes de probetas como en las muestras sobre soportes base de los morteros.

⁸ Especificación detallada en el apartado A.1 Generalidades en Anexo A (Normativo) en UNE-EN 998-1:2010 “Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido” que define requisitos que deben cumplirse en la toma de muestras para los ensayos iniciales del tipo y para los ensayos efectuados por organismo independientes.

Para las amasadas que incorporan cemento (CEM) o cemento y cal (CEM+CL) los componentes en seco se dosifican previamente y la mezcla de estos con el agua de la muestra se efectúa para que inmediatamente se utilice en la realización de las probetas o la aplicación de las muestras sobre soportes, sin que sea necesario ningún plazo temporal de espera. (Foto 8.2)

En el proceso de ejecución de la amasada y preparación de las diferentes muestras, por lo tanto, se decide utilizar los elementos y recursos instrumentales con los que se cuenta en el Laboratorio donde se realiza toda la fase experimental, que incluso serían los mismos que se podrían utilizar en cualquier tipo de obra durante la ejecución de la fase de los revestimientos o de acabados, lo que también demuestra que resulta un procedimiento relativamente limpio dentro del esquema general de movimiento de material y ejecución de una obra. Por lo tanto, se emplean espuelas para preparar las amasadas de los diferentes morteros y una batidora mezcladora eléctrica de mano, de 1000 W, con velocidad regulable para realizar la mezcla de la masa. (Foto 8.3)



Foto 8.2: Control de componentes de la mezcla en cada amasada

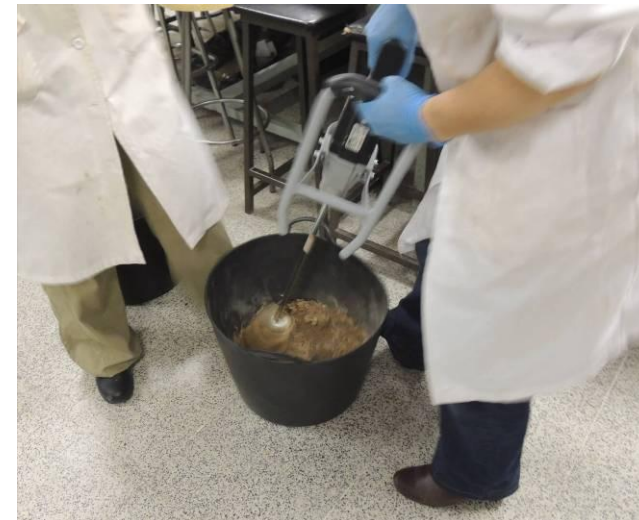


Foto 8.3: Preparación de la mezcla con batidora eléctrica

Cuando la dosificación del mortero de arcilla lleva cal, el proceso de dosificación debe seguir los pasos adecuados para garantizar la correcta homogeneidad de la masa, por lo tanto, siempre se debe colocar antes la cantidad de agua predeterminada y añadir siempre primero el conglomerante⁹, en este caso la cal en polvo correspondiente. Agregar a continuación y paulatinamente el mortero de arcilla preparado como componente árido de la mezcla del mortero. Al realizarlo de esta manera se logra que la cal quede bien humectada y aglutine mejor con los componentes áridos del mortero favoreciendo la trabajabilidad, plasticidad y facilidad de colocación de la mezcla. Cuando la amasada contiene cal en polvo, la mezcla de la cal con el agua se hace previamente durante unos 15 a 20 segundos, buscando que no queden gránulos de cal sin disolver. Cuando se emplea cal en pasta, se sigue el mismo procedimiento pero reduciendo el tiempo de batido previo ya que las mismas características de la pasta hacen que su disolución en agua sea más rápida.

En el caso concreto de la amasada de mortero de arcilla con cal en pasta (SPL) si se emplea la misma agua de cal que contiene el recipiente con el que se suministra esta cal, se asegura una calidad de mortero mejorada ya que es “agua de cal”, que permite mayor carbonatación según se constata en la tradición de encalado de muros, siendo este tema una interesante línea de investigación sobre el efecto final. No resulta un aspecto condicionante, pero al ser un agua carbonatada supone un aporte de calidad a la mezcla. En los ensayos realizados, dado el volumen de mortero que se utiliza no ha sido posible contar con suficiente agua de cal para todas las pruebas, por lo que se descarta desde el inicio aplicar este criterio. Se opta por el uso del agua potable limpia para todas las mezclas de mortero tal como se haría en la cualquier ejecución normal a pie de obra.

El tiempo de duración del amasado de la mezcla se cuenta a partir de que todos los componentes se han introducido en el recipiente de mezclado. Se debe anotar cualquier desviación con relación al procedimiento operatorio de amasado (UNE-EN 1015-2:1999). En el caso específico de los morteros de arcilla preparados, lo importante es lograr una mezcla homogénea controlando que la velocidad de la batidora sea de lenta a media, lo que se consigue entre los 60 y 75 segundos, aproximadamente. Al realizar la mezcla de todos los componentes y como el mortero se humedece y se deja estacionar durante un mínimo de 3 horas previas a su empleo, debe mantenerse cubierto en el correspondiente recipiente con bolsas de polietileno para garantizar que se conserva a más de 90% de humedad relativa, igualmente antes de usarlo para su aplicación como muestra o para relleno de probetas siempre hay que realizar un batido manual o con batidora de unos 5 a 10 segundos adicionales para homogeneizar todos los componentes de la mezcla. (Foto 8.4)

⁹ Proceso descrito según instrucciones de la norma UNE-EN 1015-2:1999 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo



Foto 8.4: Se conserva cada amasada en su respectiva espuerta cubierta por un film de polietileno como mínimo durante 3 horas.

Como en este trabajo experimental se utilizan diferentes formatos de probetas (prismáticas de 40 x 40 x 160 mm, circulares de diámetros Ø 160 mm y de Ø 50 mm), el proceso de moldeo de las probetas se realiza según las necesidades de ejecución para cada tipo de ensayo. En algunos casos se definen contemplando los requisitos de la normas UNE correspondiente a la prueba que se realiza y en otros se han establecido modelos de diseño y geometría de probetas adecuadas al tipo de ensayo planteado en la investigación. Estos criterios se describen en los apartados correspondientes a la descripción de cada ensayo donde se detalla, además, todo el proceso de operatorio del mismo (Foto 8.5).



Foto 8.5: Espacio previsto para la realización de las diferentes fases, procedimientos y tipos de ensayos en el Laboratorio de Construcciones Arquitectónicas

Se debe precisar que, en concreto para las probetas prismáticas, el proceso de ejecución de las probetas con aditivos de cal aérea (CL y SPL) se diferencia del resto de las amasadas con otras dosificaciones ya que durante en el moldeado debe preverse la colocación en la base de las probetas de papel secante y gasa de algodón para facilitar el control del secado durante las primeras horas de fraguado de las mismas (todo este proceso de preparación de las probetas queda descrito en el apartado 7.3.2 del capítulo de Procedimientos de caracterización) . (Fotos 8.6 y 8.7)



Foto 8.6: Preparación de serie de moldes metálicos para fabricar un conjunto de probetas prismáticas

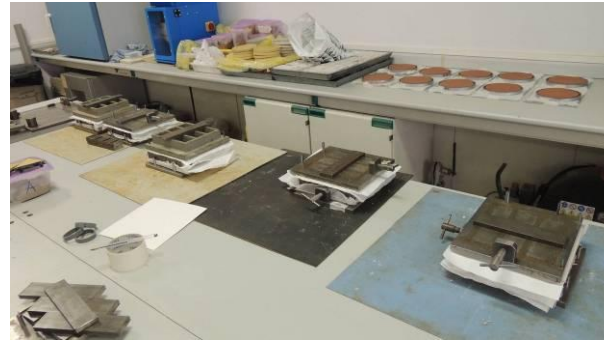


Foto 8.7: Proceso de moldeado con capas de papel secante y gasa para la fabricación de probetas con dosificación de cal aérea

Y en la preparación de las probetas cilíndricas, como los moldes son anillos de acero galvanizado para las de \varnothing 160 mm y de acero macizo para las de \varnothing 60 mm, se utilizan como base de apoyo placas de acero galvanizado y azulejos vitrificados de 200 x 200 mm cubiertos por una doble capa de gasa de algodón para evitar que la probeta quede adherida al soporte y pueda desmoldarse con facilidad sin deformaciones. (Foto 8.8)

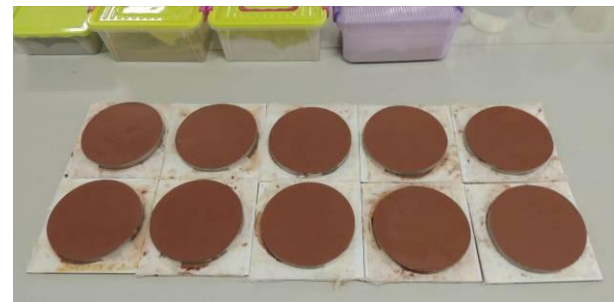


Foto 8.8: Probetas circulares de \varnothing 160 mm fabricadas con anillos de acero galvanizado sobre placas metálicas o azulejos vitrificados recubiertos con gasa de algodón

Por lo que respecta al proceso de conservación de las probetas o muestras sobre soportes para los ensayos en estado endurecido, los periodos de mantenimiento de toda la serie de probetas se establecen teniendo en cuenta las condiciones que se describen en la tabla 7.5 de tiempos de conservación, desmolde y curado de las diferentes dosificaciones de morteros según UNE-EN 1015-11:2000¹⁰, en el capítulo de Procedimientos de caracterización (apartado 7.3.2)

Durante los dos (2) primeros días todos los tipos de amasadas, independientemente del tipo de probeta, se mantienen en el molde y pasados otros cinco (5) días se quitan del molde o por lo menos se intenta quitar las paredes del mismo. En estos primeros siete (7) días desde el moldeado hasta pasada una semana se mantienen todos los moldes protegidos y envueltos por bolsas de polietileno para garantizar el porcentaje de humedad relativa requerido (>95% HR). (Foto 8.9)



Foto 8.9: Proceso de conservación de probetas durante los primeros 7 días desde su fabricación para mantenerlas bajo condiciones de > 95% de H.R.

¹⁰ La norma UNE-EN 1015-11:2000 Métodos de ensayo de los morteros de albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido, en su **apartado 7.3** contiene la Tabla 1 que determina la duración de la conservación de las probetas para morteros de diferentes tipos de cal, de cemento, de cemento y cal y cualquier otro contenido en el mortero de conglomerante hidráulico o retardador de fraguado.

En el caso particular de las probetas de algunas dosificaciones, sobre todo las de tierra arcillosa sin aditivos y las que contienen cal aérea tanto en polvo (CL) como en pasta (SPL), no se han podido desmoldar hasta pasados los primeros cinco (5) días manteniéndose completamente en el molde hasta lograr un fraguado óptimo y el correcto endurecimiento por secado que permite quitar las paredes de los moldes. (Ver apartado 8.3.3.1 Estabilidad dimensional, Tabla 8.6)

Transcurrido este tiempo, cuando se consigue el desmolde de todas las piezas, tengan el formato que tengan, se colocan en parrillas de acero galvanizado separadas entre ellas al menos 10 mm y de la base de las estanterías de acopio entre 10 y 12 mm (Foto 8.10). De esta manera las probetas se mantienen durante el periodo necesario de conservación para el secado y endurecimiento, que es de otros veintiuno (21) días, bajo las condiciones de humedad relativa necesarias, entre $65\% \pm 5\%$, y la temperatura de entre 22°C y 25°C de un ambiente controlado como es el Laboratorio de Construcciones Arquitectónicas. Al cumplirse los veinte y ocho (28) días totales desde su fabricación, las probetas están en condiciones para realizar el ensayo correspondiente.



Foto 8.10: Acopio de probetas sobre parrillas metálicas elevadas 10 mm de estanterías para su curado y secado durante 21 días después del desmolde.

8.3.- ENSAYOS REALIZADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MORTEROS DE ARCILLA PREPARADOS

8.3.1.- PRUEBA DE CAMPO

8.3.1.1.-PRUEBA DE LA BOLA

Como si se tratara de una prueba de campo, para constatar los resultados que se obtendrían a pie de obra con la preparación de las primeras amasadas de los morteros de arcilla que se hacen para los ensayos, se realiza lo que se considera una acción previa a la aplicación de cualquier mortero sobre la base soporte o muro. A modo de estudio de control de los componentes de la dosificación de los morteros a emplear se procede a ejecutar la prueba de la bola cada vez que se prepara amasadas de mortero, para verificar luego valores del ensayo de consistencia y establecer si la humedad elegida para las diferentes mezclas puede resultar la adecuada,

El procedimiento de la prueba consiste en tomar de cada amasada diseñada para la fase experimental una pequeña porción que permita hacer una bola de unos 4 a 5 cm¹¹ de diámetro y se deja caer de forma vertical desde una altura aproximada de 1,5 metros. A continuación, según la deformación que presenta la bola una vez que impacta en el suelo, se analiza si se fisura o no.

Para evaluar si la prueba es válida, se aplica el mismo criterio de análisis que se emplea cuando se dosifica un mortero para revoco in situ, a pie de obra, con mezclas de prueba para llegar a la composición más adecuada. En ese caso se pueden presentar cualquiera estas dos situaciones:

- la bola se desmorona en el suelo, por lo tanto, el mortero contiene excesiva cantidad de arena. No debe utilizarse como revoco.
- la bola se deforma por aplastamiento en la base de contacto con el suelo, pero presenta fisuras mínimas, el mortero contiene un porcentaje elevado de arcilla y puede rebajarse agregando más arena o un aditivo más grueso o se utiliza como revoco controlando su retracción.

¹¹ Gernot Minke en su reciente publicación “Revoques de barro. Mezclas, aplicaciones y tratamientos” (2014) especifica que la masa de barro debe estar lo más seca posible pero suficientemente húmeda para poder conformar la bola. En esta investigación se considera que se debe trabajar con el producto con la misma consistencia que se estudia como adecuada para su aplicación, solo que la prueba debe hacerse después del reposo del producto pasadas las 3 horas mínimo de reacción al proceso de humectación y antes del último aporte de humedad en el proceso de batido previo a su directa colocación como revoco.

En este trabajo de investigación al utilizar productos predosificados y preparados que se fabrican bajo altos niveles de control en la cantidad de todos sus componentes, los diferentes morteros sin y con aditivos, se prueban al comienzo con la dosificación de agua recomendada por el fabricante, que es del 24% de contenido en volumen¹². Es durante este proceso cuando se detecta que la plasticidad que presentan los diferentes morteros varía según el tipo de arcilla en su composición (A2, G4 y R1) y que también cada mezcla reacciona de forma diferente al aporte del mismo porcentaje de agua. Los morteros de arcillas amarillas y grises se humectan rápidamente y no endurecen durante el proceso de amasado, la masa pronto se convierte en una mezcla maleable y fácil de trabajar con una espátula. Por el contrario, los morteros de las arcillas rojas presentan una oposición inicial al amasado que varía, poco a poco, durante el proceso de batido de la amasada y resulta una mezcla bien humectada pero más pegajosa que se adhiere a la espátula con mayor facilidad.

Estas reacciones en los diferentes tipos de mezclas se acentúan cuando las dosificaciones contienen aditivos de cal, tanto aérea como hidráulica y, en la mezcla con cemento, necesitan mayor aporte de agua para lograr hacer la bola. En este sentido a las mezclas con aditivos se les hace una corrección inicial de contenido de humedad y se les agrega entre un 5 a 10% más de agua, para lograr una consistencia que se considera adecuada esperando constatar un valor concreto para cada dosificación mediante el ensayo de consistencia.

A pesar de las variaciones en contenido de humedad que cada dosificación exige durante el preparado de la muestra, cuando se realiza la prueba de la bola en todas las dosificaciones se produce el mismo efecto, las bolas se aplastan y deforman sin presentar fisuras mayores a la tercera parte de su diámetro. (Foto 8.11)

Por lo tanto, la realización de esta prueba de campo previamente a un análisis experimental completo de Laboratorio se considera interesante y complementario como referencia para dar por aptos los revocos de todas las dosificaciones diseñadas.

¹² En la Norma UNE-EN 1015-2:1998 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de morteros para ensayo en su apartado 6.2.1 Generalidades especifica que el amasado y contenido de agua requerido debe seguir las instrucciones del fabricante y que en ausencia de instrucciones el procedimiento operatorio de amasado con amasadora permite mezclar la mezcla con la cantidad de agua hasta que el mortero tenga la consistencia deseada.



Foto 8.11: Proceso de realización de la prueba de la bola: preparación de la mezcla, fabricación de la bola, lanzamiento >1 m de altura, verificación de aplastamiento y tipo de fisuración de la bola como resultado de la prueba.

8.3.1.2.- PRUEBA DE RETRACCIÓN Y RESISTENCIA SECA

La prueba de resistencia seca y de retracción es otra de las pruebas de campo que se realizan como estudio previo de las dosificaciones diseñadas para los morteros. Estas pruebas se desarrollan en paralelo con los ensayos de Laboratorio para comprobar si la proporción de componentes que contiene cada una de amasadas es adecuada y en cuanto influye el aporte de aditivos en los morteros diseñados.

Para determinar estas verificaciones se fabrica una probeta cilíndrica de Ø 60 mm por cada una de las dosificaciones de mortero de arcilla. Para ello se emplean unas anillas de acero macizo de 60 mm de diámetro interior y 10 mm de espesor, tal como se describe en el apartado 7.3.2 - B del capítulo 7 Procedimiento de caracterización. Las anillas se colocan sobre bases de chapa de acero galvanizada o azulejos vitrificados previa

aplicación de desencofrante natural, se sujetan lateralmente con cinta para evitar su desplazamiento. A continuación, con una espátula, se rellena el molde con la masa de mortero hasta colmatarlo y enrasar la superficie superior, con la misma espátula, hasta dejarla perfectamente plana y lisa.

Las probetas se dejan secar a temperatura ambiente, sin tapar, durante dos (2) días para realizar las pruebas de control de la resistencia a la rotura en seco y medir cuanto se contrae la masa de cada dosificación dentro del molde. Transcurrido este tiempo y sin desmoldar, se toma nota de los mm de retracción que experimenta cada pieza (Fotos 8.12 y 8.13) y se apunta el valor en el libro de seguimiento de pruebas y ensayos del Laboratorio.



Foto 8.12: Proceso de medición de la retracción de las probetas A2 CL12, G4 CL12 y R1 CL12 a los días de su fabricación



Foto 8.13: Proceso de medición de la retracción de las probetas A2 HL12, G4 HL12 y R1 HL12 a los días de su fabricación

Una vez desmoldadas todas las probetas, se hace la prueba de resistencia en seco, cogiendo cada pastilla con los dedos pulgar e índice de cada lado y con las dos manos para aplicar una fuerza de flexión que parta la pieza en dos partes. Según el grado de oposición a la rotura de cada una de las probetas se deduce su capacidad resistente.

En la ejecución de la prueba todas las probetas de las diferentes dosificaciones, sin y con aditivos, presentan suficiente resistencia sin partirse, excepto la probeta de G4 que se parte fácilmente al hacer presión y, además, mancha la palma de las manos con polvo de arcilla (Foto 8.14). Todas las demás dosificaciones verifican con esta prueba estar correctas (Foto 8.15). En este caso cabe destacar que los morteros de arcilla son un producto preparado con dosificación controlada por el fabricante dentro de un proceso industrializado de selección de componentes y por más que se incorporen aditivos a la masa, al tratarse de cales aéreas, hidráulicas y cemento, la resistencia inicial del mortero de arcilla sin aditivos se ve reforzada.

A continuación, en la Tabla 8.3, se transcriben los valores de los datos de contracción lineal obtenidos en esta prueba para cada dosificación:

Tabla 8.3

PRUEBA DE RETRACCIÓN LINEAL					
Valores medios de contracción en mm para probetas de Ø 60 mm					
Dosificación	Valor medio	Dosificación	Valor medio	Dosificación	Valor medio
A2	0.5	G4	0.5	R1	1.5
A2 CL 4	1	G4 CL 4	0.5	R1 CL 4	1.5
A2 CL 12	1.5	G4 CL 12	1	R1 CL 12	2.5
A2 CL 20	1.5	G4 CL 20	1	R1 CL 20	2.5
A2 HL 4	2	G4 HL 4	1	R1 HL 4	2
A2 HL 12	2	G4 HL 12	1.5	R1 HL 12	3
A2 HL 20	2	G4 HL 20	1.5	R1 HL 20	3
A2 SPL 4	2	G4 SPL 4	0.5	R1 SPL 4	2.5
A2 SPL 12	2	G4 SPL 12	1	R1 SPL 12	2.5
A2 SPL 20	2	G4 SPL 20	1	R1 SPL 20	2.5
A2 CEM	0.2	G4 CEM	0.2	R1 CEM	0.5
A2 CEM CL	0.2	G4 CEM CL	0.2	R1 CEM CL	0.5
BF	0.2				



Foto 8.14: Probeta de dosificación G4 que se parte fácilmente a la mínima presión



Foto 8.15: Ejemplo de probetas del resto de dosificaciones que superan la prueba

8.3.2.- ENSAYOS EN ESTADO FRESCO

8.3.2.1.- CONSISTENCIA

La ejecución del ensayo para la determinación de la consistencia de todos los morteros de arcilla en estado fresco nos permite verificar si el contenido de agua para el amasado que establece el fabricante es correcto y se puede llegar a obtener un valor de escurrimiento óptimo para su utilización como revestimiento. Se estima que estos valores deben modificarse después de las comprobaciones realizadas con la prueba de la bola, donde se constata que los tipos utilizados como base de experimentación reaccionan de manera diferente a la humectación con respecto a su plasticidad. Como se han diseñado, además, dosificaciones con diferentes aditivos se estima que será necesario hacer correcciones para cada uno de los morteros utilizados y para cada una de las dosificaciones.

Como a través del ensayo de consistencia se obtiene el valor de escurrimiento adecuado que facilita la trabajabilidad del mortero, la medida de fluidez y/o humedad que le proporciona el porcentaje de agua que se adiciona en el proceso de amasado permite, a su vez, utilizar las mezclas de mortero en fresco para calcular la densidad aparente de todas las dosificaciones. Este ensayo debe repetirse cada vez que se realiza una amasada, para controlar que las todas las muestras de morteros empleadas cumplan con idénticos valores de escurrimiento en todos los ensayos por igual. Aunque cabe señalar que no se procede igual para todas las dosificaciones ya que para los morteros que contienen conglomerantes hidráulicos, es decir en las dosificaciones con cemento (CEM) y cemento y cal (CEM CL) la prueba debe hacerse justo inmediatamente después del amasado; en cambio para las demás dosificaciones, se esperan como mínimo 3 horas desde la preparación de la amasada y humectación antes de realizar todos los pasos de la operatoria del ensayo.

- Procedimiento

La ejecución del ensayo para la determinación de la consistencia de todos los morteros de arcilla en estado fresco se realiza con la metodología explicada en el capítulo correspondiente y en base a los criterios e instrucciones de la UNE-EN 1015-3:2000¹³. En este caso, en el Laboratorio se dispone de la mesa de sacudidas normalizada que cumple con los requisitos dimensionales y elementos auxiliares completos para poder usar el correspondiente cilindro troncocónico metálico de bronce de 60 mm de altura, con un diámetro en la base de 100 mm y en la parte superior del cono de 70 mm y el pisón es de resina polimérica con 40 mm de diámetro, 200 mm de longitud y tiene aproximadamente con una masa de 0.250 ± 0.015 kg tal como exige la norma.

¹³ **UNE-EN 1015-3:2000.A2:2007** Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).

Las amasadas de las mezclas para cada dosificación se preparan como se describe en el apartado 2.1 y antes de iniciar el ensayo se limpian todas las superficies de los elementos que deben utilizarse, tanto la base de la mesa de sacudidas como las paredes del cilindro troncocónico metálico se lubrican con desencofrante para evitar que las diferentes muestras de mortero queden adheridas a sus paredes y se logre un correcto deslizamiento sobre las piezas.

A continuación se rellena el cilindro troncocónico con dos tongadas de la muestra de mortero, cada una debe compactarse cada vez con el pisón de resina polimérica de sección circular apisonando con 10 golpes. En la última, una vez que el molde se llena y enrasa con mortero se desmolda en sentido vertical. Se procede entonces a dejar caer el disco de la mesa de sacudidas 15 veces con una frecuencia constante de una sacudida por segundo (Foto 8.16). El cono de mortero extendido resultante se mide en dos sentidos perpendiculares entre si y se toman los datos de dos diámetros en mm (Foto 8.17). Este mismo procedimiento se repite dos veces, y de los valores parciales de escurrimiento obtenidos se hace una media cuyo valor de escurrimiento final de la muestra no debe diferir del 10% de cada uno de los valores individuales, de lo contrario habría que repetir el ensayo o verificar la dosificación de la muestra.



Foto 8.16: Mortero en estado fresco en forma de cono después del desmolde sobre la mesa de sacudidas

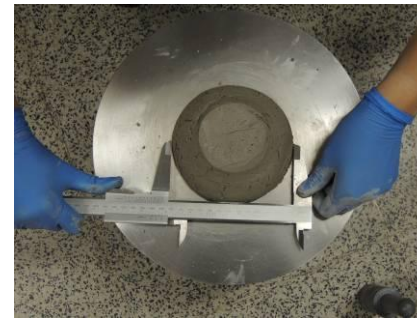
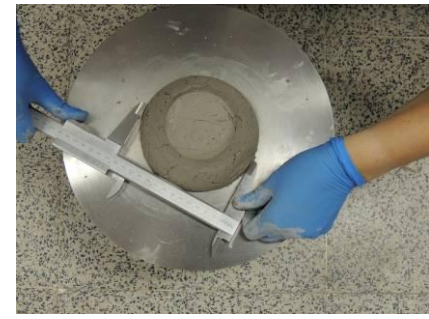


Foto 8.17: Medición de la deformación del cono después de sacudir con 15 golpes la mezcla para conocer su consistencia



El procedimiento de ejecución del ensayo de consistencia que se describe se hace para todas y cada una de las dosificaciones diseñadas manteniendo la misma operatoria de forma repetitiva y para cada uno de los ensayos a realizar. Con los valores de escurrimiento se comprueba que hay que establecer valores de corrección de contenido de humedad de las diferentes dosificaciones, ya que en las primeras pruebas, se verifica que el porcentaje de agua preestablecido por el fabricante del 24 % no permite en los morteros con aditivos una consistencia adecuada, plástica y trabajable, como mortero de revoco.

Todos los registros de datos obtenidos, ajuste de la proporción de agua necesaria y de escurrimiento por amasada, se detallan en las fichas de seguimiento del proceso experimental realizadas cada vez que se ha ejecutado el ensayo de consistencia. Estas fichas, a modo de actas de ensayo, se adjuntan en el documento ANEXO de esta investigación.

- Valores medios obtenidos de escurrimiento

En la Tabla 8.4 se muestra el resumen de los datos obtenidos, también se detallan los valores de porcentajes de agua incorporada a cada una de las dosificaciones para establecer el valor medio de humectación que cada una necesita para cumplir con la consistencia adecuada y utilizarla como referencia para todas las amasadas, como se indica en el apartado 7.3 del capítulo 7 Procedimiento de caracterización.

Tabla 8.4

RESUMEN DE VALORES DE ESCURRIMIENTO en mm (UNE-EN 1015-2: 1999)								
Dosificación	Valor medio individual	% de agua	Dosificación	Valor medio individual	% de agua	Dosificación	Valor medio individual	% de agua
A2	121,65	24	G4	104,85	24	R1	113,90	26
A2 CL 4	122,91	30	G4 CL 4	107,10	28	R1 CL 4	119,38	32
A2 CL 12	119,90	30	G4 CL 12	102,75	30	R1 CL 12	120,63	36
A2 CL 20	120,80	32	G4 CL 20	99,13	30	R1 CL 20	119,09	38
A2 HL 4	122,46	30	G4 HL 4	104,01	28	R1 HL 4	107,03	32
A2 HL 12	119,46	32	G4 HL 12	140,43	32	R1 HL 12	105,23	38
A2 HL 20	115,50	30	G4 HL 20	137,09	32	R1 HL 20	121,65	38
A2 SPL 4	137,98	20	G4 SPL 4	131,45	22	R1 SPL 4	121,99	30
A2 SPL 12	126,50	20	G4 SPL 12	116,40	31	R1 SPL 12	115,91	34
A2 SPL 20	115,75	20	G4 SPL 20	106,05	19	R1 SPL 20	119,55	28
A2 CEM	116,15	30	G4 CEM	128,59	30	R1 CEM	111,43	34
A2 CEM CL	126,49	32	G4 CEM CL	139,30	32	R1 CEM CL	112,60	36
BF	108,00	24						

8.3.2.2.- DENSIDAD APARENTE

La prueba de densidad aparente de los morteros en estado fresco se realiza según las especificaciones de la norma UNE-EN 1015-6:1999. A1:2007 para conocer el dato correspondiente a todas las dosificaciones para las muestras de los ensayos. El ensayo, igual que el de consistencia, se realiza para todas las dosificaciones después de transcurridas al menos 3 horas desde la preparación de la amasada excepto para los casos de las dosificaciones que contiene conglomerantes hidráulicos como el cemento (CEM) y cemento y cal (CEM CL) que se hace con el mortero recién preparado y directamente para rellenar los moldes de probetas o su aplicación como muestras sobre soportes.

- Procedimiento

Para la ejecución del ensayo se dispone de un recipiente cilíndrico metálico de aluminio vacío con una masa de 944 gramos y una capacidad, medida en volumen, de 1,1 litro y una espátula o regla para enrasar. El procedimiento del ensayo se hace por el método de sacudidas que consiste en rellenar el recipiente cilíndrico hasta la mitad con la mezcla del mortero de arcilla preparado en estado fresco, seguidamente el recipiente se bascula de un lado a otro contando 10 veces y luego se deja caer otras 10 veces desde una altura aproximada de 30 mm sobre una base sólida y rígida que, en nuestro caso, es el suelo de terrazo del Laboratorio. A continuación, se rellena hasta colmatar el recipiente y enrasar la mezcla con el borde superior del mismo para repetir la operatoria de compactación anterior con un balanceo de un lado a otro 10 veces y dejar caer desde una altura de 30 mm otras 10 veces el recipiente sobre el suelo. Finalmente se rellena, si hace falta, hasta que la parte superior del recipiente quede colmatada, se enrasa con una espátula o regla y luego se pesa (Foto 8.18).



Foto 8.18: Proceso de balanceo y golpeo para compactación de mortero fresco en recipiente metálico cilíndrico y pesadas para determinar la densidad aparente

Este procedimiento se realiza dos veces ya que hay que tener el dato de las pesadas Pm1 y Pm2 para obtener dos determinaciones de la densidad aparente del mortero fresco y calcular su valor medio. Con el relleno del recipiente que sirve de base para este ensayo se rellenan moldes de probetas para otros ensayos de mortero en estado endurecido, aprovechando así la misma mezcla para dos funciones operatorias.

- Valores medios obtenidos de densidad aparente de todas las dosificaciones

Los datos de las pesadas con todos los morteros de arcillas diseñados se apuntan en fichas generadas en un archivo Excel como elementos de trabajo, a modo de acta del ensayo, para que la información que se obtiene durante el proceso permita controlar los valores medios de cada una de las amasadas que se reflejan en la Tabla 8.5. De esta manera se registra la densidad aparente de cada mezcla y se puede calcular de forma inmediata el valor medio sin que haya desviaciones de un $\pm 10\%$ de los valores individuales lo obligaría a descartar la mezcla y repetir el ensayo. Estas fichas se adjuntan en el documento ANEXO de esta investigación.

Tabla 8.5

DENSIDAD APARENTE MORTERO FRESCO Kg/m ³ UNE-EN 1015-6:1999					
Dosificación	Valor medio		Dosificación	Valor medio	
A2	1937.27		G4	2028.18	R1
A2 CL 4	1851.82		G4 CL 4	1901.82	R1 CL 4
A2 CL 12	1801.82		G4 CL 12	1740.00	R1 CL 12
A2 CL 20	1756.82		G4 CL 20	1496.36	R1 CL 20
A2 HL 4	1878.64		G4 HL 4	1769.09	R1 HL 4
A2 HL 12	1845.91		G4 HL 12	1728.18	R1 HL 12
A2 HL 20	1810.00		G4 HL 20	1685.45	R1 HL 20
A2 SPL 4	1427.27		G4 SPL 4	1532.27	R1 SPL 4
A2 SPL 12	1549.55		G4 SPL 12	1628.18	R1 SPL 12
A2 SPL 20	1677.27		G4 SPL 20	1752.27	R1 SPL 20
A2 CEM	1771.82		G4 CEM	1680.91	R1 CEM
A2 CEM CL	1677.27		G4 CEM CL	1585.00	R1 CEM CL
BF	2000.91				

8.3.3.- ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO

- COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA

8.3.3.1.- ESTABILIDAD DIMENSIONAL

Es importante para los morteros de arcilla, y más aún para los estabilizados con aditivos, controlar las retracciones que se producen durante el proceso de pérdida de humedad, carbonatación de las cales o fraguado del cemento. Para analizar la estabilidad dimensional de las probetas con las que se hace este ensayo se decide tomar como referencia la norma UNE 83830 EX: 2010¹⁴, por lo tanto se emplean los moldes normalizados metálicos para tres (3) probetas prismáticas de 40 x 40x 160 mm según UNE-EN 1015-11:2000. Cabe aclarar que para este ensayo en particular se adoptan estas especificaciones de la normativa española variando las referencias dimensionales que se utilizan en las pruebas de la norma alemana DIN 18952¹⁵ (Minke 2001).

Las tres (3) probetas que se moldean para este ensayo, como se utilizan para esta prueba que no destruye la pieza, forman parte además de la serie de nueve (9) probetas que se fabrican para otros ensayos como el de medición de la compacidad por ultrasonidos y finalmente para los de flexotracción y compresión.

-Procedimiento

Para este ensayo se fabrican tres (3) probetas de dimensión 40 x 40 x 160 mm, donde las mezclas para las muestras de todos los morteros de arcilla se preparan y se conservan en Laboratorio como se describe en el apartado 7.3.1 del capítulo 7 Procedimiento de caracterización y, además, el moldeo de cada probeta se hace como se describe en el apartado 7.3.2 –A del mismo capítulo. (Foto 8.19 y 8.20)

¹⁴ UNE 83830 EX: 2010. Morteros. Método de ensayo de los morteros para albañilería endurecidos. Determinación de la estabilidad dimensional de los morteros de albañilería endurecidos

¹⁵ Remitirse al capítulo 7 Procedimiento de caracterización donde se especifica las características dimensionales que establece esta norma alemana, en el apartado 7.3.

El procedimiento del ensayo permite determinar la variación de peso y estabilidad dimensional que por contracción se produce en los morteros de arcilla preparados durante el proceso de endurecimiento de las probetas. Ese cambio por variación en contenido de humedad se manifiesta desde el momento del moldeado de la probeta por lo que se establece un control y seguimiento de toma de datos, es decir pesado y medición de la longitud de las probetas a los 2, 7, 14 y 28 días, agregando así un periodo más de medición con respecto a la norma, en mitad del periodo total de endurecimiento de la masa.

Las dosificaciones de los morteros de arcilla sin aditivos y varias de las que tienen aditivos de cales, tanto aéreas como hidráulica, como se detalla en la Tabla 7.5 no se pueden desmoldar a los 2 días por lo tanto tampoco se puede tomar nota de su peso y dimensión. De esta forma, se dejan en los moldes hasta pasados 5 días más, manteniéndose la conservación de las probetas y su curado durante los primeros 7 días a un $95 \pm 5\%$ de humedad ya que permanecen con las bolsas de polietileno (Foto 8.19). El resto del tiempo las probetas se conservan desmoldadas y se almacenan para su curado definitivo los 21 días siguientes en estanterías sobre una parrilla elevada de 10 a 15 mm de las mismas.



Foto 8.19: Moldeado de tres probetas prismáticas de mortero sin aditivos para mantenerlas durante los primeros 5 días cubiertas en bolsas de polietileno. A los 7 días se desmoldan y dejan secar antes de acopiar en estanterías.



Foto 8.20: Desmolde de probetas prismáticas con aditivos hidráulicos a los 2 días de fabricación para conservarlas durante los 5 días posteriores embolsadas para garantizar su curado con $> 95\%$ de H.R.

Una vez curadas se procede a pesar las probetas para lo que se utiliza una balanza de precisión de ± 0.01 gr calibrada con capacidad hasta 5 kg. Para controlar las variaciones de longitud real de la probeta se emplea un vernier o calibre pie de rey manual, con precisión de decimales y fracciones de milímetros (Foto 8.21). Se realiza la toma de datos de forma sistemática, en cada periodo de tiempo programado para el ensayo, volcando la información en fichas de control y seguimiento para el trabajo de laboratorio que se adjuntan en el documento ANEXO.



Foto 8.21: Proceso de control de peso de probetas sobre balanza calibrada y medición de longitud con pie de rey manual

-Valores medios de variación de peso y longitud de probetas en el proceso de curado

El cálculo de las variaciones de masa que sufren las probetas a lo largo de su proceso de curado se realiza cada vez que se efectúa la medición de la longitud de las mismas, obteniéndose el valor medio de los valores individuales de cada una de las tres probetas con una aproximación de 0,01 %. (Tabla 8.6). Las medidas de variación de la longitud, de las mismas tres probetas analizadas se efectúan según el eje longitudinal, teniendo en cuenta que hay que controlar que la medida de alguna de estas probetas no debe sobrepasar en más de 0.5 mm/m la longitud del resto de probetas del ensayo según UNE 83830 EX: 2010.

Tabla 8.6

ESTABILIDAD DIMENSIONAL - UNE 83830 EX: 2010										
Morteros ensayados en probetas prismáticas 40x40x160 mm										
Mortero	PESO en grs.				Valor reducción peso %	DIMENSIÓN LONGITUDINAL en mm				Valor reducción longitud %
	2 días	7 días	14 días	28 días		2 días	7 días	14 días	28 días	
A2	-	-	420.62	420.02	0,14	-	0.00	153.80	152.78	4,51
A2 CL 4	-	480.88	385.25	381.85	0,88	-	160.16	156.07	155.62	2,74
A2 CL 12	-	470.68	364.77	362.02	0,75	-	160.03	154.40	154.22	3,61
A2 CL 20	-	465.07	344.27	345.41	-0,33	-	160.25	152.20	144.23	9,86
A2 HL 4	470.95	384.96	375.70	376.91	-0,32	159.07	154.57	154.18	154.02	3,74
A2 HL 12	466.13	387.54	372.96	373.35	-0,10	158.28	156.17	155.65	155.45	2,84
A2 HL 20	455.34	-	336.78	338.12	-0,40	158.72	-	150.43	147.67	7,71
A2 SPL 4	-	464.43	375.09	376.12	-0,27	-	158.62	154.33	154.12	3,68
A2 SPL 12	-	426.54	323.09	324.70	-0,50	-	157.68	150.90	150.87	5,71
A2 SPL 20	-	448.15	352.34	354.33	-0,56	-	158.37	153.68	153.52	4,05
A2 CEM	485.92	484.67	395.32	389.99	1,35	160.00	160.00	159.23	159.08	0,57
A2 CEM CL	-	473.25	380.08	380.87	-0,21	160.00	160.00	159.28	159.32	0,43
G4	-	504.69	448.79	448.71	0,02	-	157.93	157.40	156.98	1,89
G4 CL 4	-	482.06	415.48	415.70	-0,05	-	158.33	157.17	157.05	1,84
G4 CL 12	-	473.16	408.58	409.40	-0,20	-	157.90	157.42	157.18	1,76
G4 CL 20	459.98	458.54	387.38	388.39	-0,26	159.15	159.13	157.88	157.50	1,56
G4 HL 4	-	496.44	434.22	434.41	-0,04	-	157.93	157.40	157.38	1,64
G4 HL 12	-	460.73	378.41	373.83	1,21	-	158.10	155.30	155.52	2,80
G4 HL 20	-	448.15	358.70	360.59	-0,53	-	157.85	155.45	155.42	2,86
G4 SPL 4	-	471.56	387.54	388.44	-0,23	-	158.23	154.43	154.27	3,58
G4 SPL 12	-	459.49	373.12	375.07	-0,52	-	157.85	154.30	153.85	3,84
G4 SPL 20	-	453.22	363.69	366.05	-0,65	-	157.58	153.87	153.40	4,13
G4 CEM	484.32	483.09	392.44	389.11	0,85	160.00	160.00	159.85	159.52	0,30
G4 CEM CL	472.78	472.00	379.21	378.47	0,20	160.00	160.00	159.28	159.32	0,43
R1	-	-	409.26	408.18	0,26	-	-	150.77	150.57	5,89
R1 CL 4	-	457.82	367.38	368.63	-0,34	-	157.57	152.97	152.80	4,50
R1 CL 12	-	447.06	351.89	352.95	-0,30	-	157.15	152.15	152.00	5,00
R1 CL 20	435.38	434.01	347.10	335.99	3,20	157.73	158.07	151.15	151.08	5,57
R1 HL 4	-	432.46	369.23	362.14	1,92	-	153.57	152.40	152.07	4,96
R1 HL 12	-	416.14	361.73	336.31	7,03	-	154.57	152.63	152.08	4,95
R1 HL 20	-	436.25	356.59	335.22	5,99	-	157.75	153.40	153.05	4,34
R1 SPL 4	-	473.19	384.19	374.40	2,55	-	158.80	152.50	152.53	4,67
R1 SPL 12	-	456.27	356.05	345.61	2,93	-	160.03	152.43	152.43	4,73
R1 SPL 20	-	440.49	339.99	319.83	5,93	-	159.17	150.38	150.35	6,03
R1 CEM	482.79	481.93	392.93	389.35	0,91	160.00	160.00	158.63	158.33	1,04
R1 CEM CL	465.88	465.10	365.99	366.32	-0,09	160.00	160.00	151.47	158.23	1,11
BF	444.05	460.26	390.08	394.58	-1,15	156.82	156.03	155.30	156.88	1,95

8.3.3.2.- ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD

El ensayo de referencia que se considera para definir el coeficiente de absorción por capilaridad de los morteros de arcilla preparados se especifica en la norma UNE-EN 1015-18:2003, aunque se toma la decisión de hacer modificaciones en el procedimiento de las pruebas ya que la poca o nula estabilidad de la tierra arcillosa, en contacto directo con el agua, hace inviable poder mantener estables las probetas durante el mayor tiempo posible que deben estar sumergidas en agua. Por lo tanto, se decide hacer esta prueba con tres variantes de apoyo de las probetas dentro del recipiente en contacto directo con el agua, para lograr ejecutar un ensayo con valores válidos y comparables.

Para este ensayo se emplean en total nueve (9) probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm de lado por dosificación, y esta cantidad se divide en tres lotes de tres (3) probetas cada uno para utilizarlos en los tres tipos diferentes de condiciones de apoyo dentro de los recipientes de plástico en los que las probetas se sumergen en agua destilada hasta cubrir su base ± 10 mm.

En la Foto 8.22, se muestra la preparación de los tres recipientes que consiste en disponer los siguientes contenidos:

- agua destilada hasta cubrir un mínimo de 5 mm y máximo de 15 mm la base de la probeta separada de la base del recipiente 10 mm y apoyada sobre una parrilla de plástico con una trama abierta que no impide que la cara inferior de la pieza este en contacto directo con el agua.
- base de arena limpia de un mínimo de 15 mm de espesor empapada de agua destilada hasta cubrir la capa de arena un mínimo de 5 mm y máximo de 15 mm para que la base de la probeta quede apoyada directamente sobre el manto de áridos finos.
- paño de algodón empapado de agua destilada hasta cubrir el paño húmedo un mínimo de 5 mm y máximo de 15 mm la base de la probeta apoyada directamente sobre el paño.



Foto 8.22: Preparación de los tres recipientes: con agua destilada y parrillas de plástico como base de apoyo para probetas, base de arena con un mínimo de 15 mm de espesor y base con paño de algodón

- Procedimiento

Una vez que se fabrican las probetas programadas para el ensayo y transcurre el tiempo de curado especificado en norma UNE-EN 1015-11:2000, es decir, pasados los 28 días prescritos, se procede al sellado de las cuatro caras mayores de cada probeta, en el sentido longitudinal, con cera de parafina con un punto de fusión de entre 75° y 100°C, dejando libres de recubrimiento las caras pequeñas de cada extremo (Foto 8.23).



Foto 8.23: Proceso de preparación de la parafina para la cobertura de las caras longitudinales de probetas con baño por inmersión parcial a 75°C constantes

Una vez que todas las probetas están recubiertas con el baño de parafina y secas se parten por la mitad sometidas a flexión en la prensa multiensayo de 300 kN, de la casa Codein S.L., modelo MCO-30, número de serie 139, donde reciben una carga máxima admisible de rotura con una velocidad uniforme de 1 kgf/s (10 N/s) en el centro de las piezas. A continuación se pesan las dos mitades y se apunta la lectura para tener el dato del peso inicial antes del secado de las probetas en estufa para conseguir el peso de la masa constante.

En consecuencia, se colocan las mitades de cada probeta en una estufa con ventilación a una temperatura de $50 \pm 5^\circ\text{C}$, en concreto se mantiene a 45°C constantes para evitar el reblandecimiento de la parafina, y se controla diariamente su peso hasta que dos pesadas consecutivas, efectuadas en un intervalo no mayor de 24 horas, tengan una pérdida de masa igual o menos del 0,2% de la masa total con lo que se consigue masa constante (Foto 8.24).



Foto 8.24: Proceso de preparación de probetas para la realización del ensayo. Las probetas curadas a los 28 días se señalan con una designación doble (código alfanumérico en cada extremo) ya que después de cubiertas de parafina y se parten en dos mitades para poder secarlas en la estufa.

Previamente a conseguir que todas las mitades de probetas están estabilizadas para realizar el ensayo, cada pieza se identifica con la misma designación empleada en todas las probetas de la fase experimental, pero en vez de referenciarlas con un número por probeta se establece un código alfanumérico desde la letra “a” hasta la “o”, tal como se refleja en la Tabla 8.7, para poder diferenciar cada una de las mitades de probetas y poder organizarlas en los diferentes recipientes y acometer el correspondiente proceso operatorio del ensayo sin riesgo a confundir las piezas (Foto 8.25).

Tabla 8.7

DESIGNACIÓN de PROBETAS para ENSAYO de ABSORCIÓN		
PROBETAS	PREPARACION de RECIPIENTE para TODAS las DOSIFICACIONES de MORTEROS ENSAYADOS	
1	a	AGUA DESTILADA (PARRILLA PLASTICA DE APOYO)
	b	
2	c	
	d	
3	e	
	f	
4	g	CAMA DE ARENA Con AGUA DESTILADA
	h	
5	i	
	j	
6	k	
	l	
7	m	PAÑO DE ALGODÓN con AGUA DESTILADA
	n	
8	o	
	p	
9	q	
	r	



Foto 8.25: Proceso de secado de probetas partidas y cubiertas de parafina en estufa a 45°C para estabilizar su masa y posteriormente ser colocadas en los recipientes de plástico con tapa y para la realización del ensayo de absorción.

Los recipientes de plástico se preparan, a modo de bandejas, para que garanticen una superficie plana de tamaño suficiente para contener las mitades de probetas que se sumergen en agua con un nivel constante de 10 mm. Se eligen, por lo tanto, tres recipientes plásticos de las mismas características y con tapa para poder mantener las probetas, durante el periodo completo que necesita el ensayo bajo las condiciones de humedad relativa del aire $\pm 95\%$ y temperatura media de entre 25° y 22°C. En todos los recipientes se marcan los niveles constantes a los que debe estar el agua para garantizar la profundidad de inmersión de las probetas, siempre entre 5 mm a 10 mm por encima de la cara sumergida de la probeta (Foto 8.26).

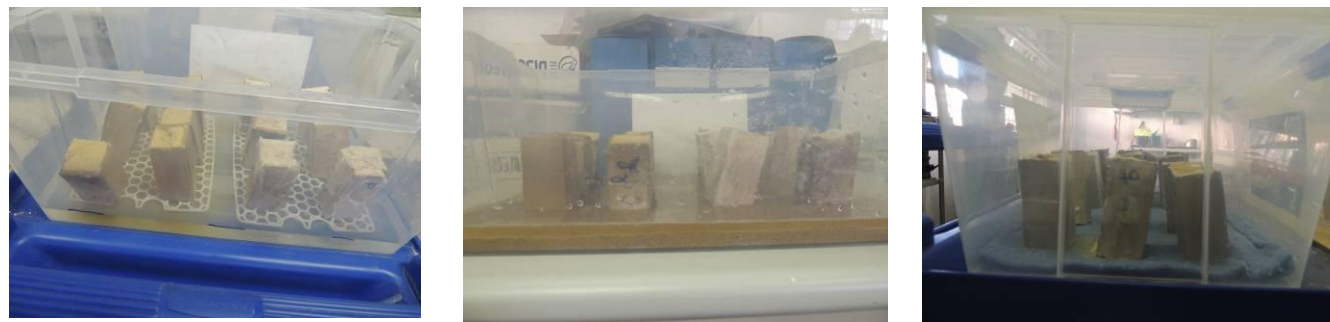


Foto 8.26: Mitades de probetas asentadas sobre los tres tipos de base de apoyos preparados en tres recipientes de plástico y con tapa.

Seguidamente, se sumergen las mitades de cada probeta en los correspondientes recipientes durante 10 minutos, siempre con la cara rota, es decir, la superficie de rotura hacia abajo en contacto con el agua (sobre la parrilla plástica, base de arena o paño de algodón) (Foto 8.27). Debe asegurarse que toda la superficie rugosa esté sumergida para evitar burbujas de aire. Se tapa el recipiente para evitar la evaporación del agua en la superficie de las probetas durante la inmersión. Transcurrido el tiempo establecido, las probetas se sacan del recipiente, se secan cuidadosamente con un paño humedecido para eliminar el agua superficial y se pesan nuevamente. Se registra el dato de lectura del nuevo peso que permitirá calcular el incremento de masa en kg/m^2 . A continuación, se procede a repetir la inmersión un total de 90 minutos contabilizados desde la primera colocación. Cumplido el tiempo, se retiran y se vuelven a pesar registrando el nuevo dato de la pesada. El ensayo ese día, termina cuando se colocan nuevamente en los recipientes las piezas para dejarlas 24 hs en inmersión.

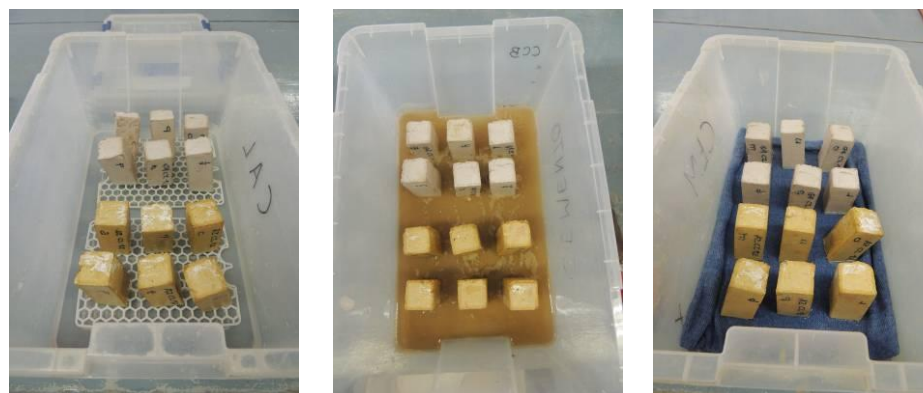


Foto 8.27: Proceso de colocación de probetas para la realización del ensayo

El ensayo de referencia de la norma UNE-EN 1015-18:2003 establece solo dos mediciones de peso de las probetas sumergidas en agua destilada, una a los 10 minutos y otra en un total de 90 minutos de inmersión de las piezas. En este trabajo de investigación para la realización del ensayo, se mantiene este criterio de tiempo de pesada pero se adicionan otros cuatro periodos de medición a las 24 hs, 48 hs, 72 hs y 96 hs, es decir se agregan mediciones diarias en el mismo tramo horario durante 4 días.

Este procedimiento de control aumentando los periodos de tiempo de medida de las probetas es necesario para comprobar la respuesta de las dosificaciones con aditivos. (Foto 8.28)



Foto 8.28: Estado de las probetas de diferentes dosificaciones después de transcurridos los 90 minutos durante el primer día de desarrollo del ensayo

Durante la realización del ensayo se controla la respuesta de las diferentes probetas y se hace un seguimiento del peso y del estado de conservación de cada pieza a lo largo del periodo de desarrollo de la prueba, ya que no todas las amasadas responden de la misma manera. Las probetas de mortero de arcilla sin aditivo son las primeras en presentar disgregación de su masa en las primeras pesadas dentro de las dos horas iniciales; por el contrario, las otras dosificaciones con aditivos soportan estables la absorción continua de humedad.

Todas las cuestiones destacables, como descripciones del estado de conservación de cada pieza de probeta durante el proceso del ensayo, disgregaciones de masa, humectación de la cara superior de la probeta, etc., se apuntan en las fichas de control y seguimiento diseñadas como actas para el ensayo que se adjuntan en el documento ANEXO.

- Valores medios de absorción

Los valores para obtener el coeficiente de absorción de agua se calculan en base a la diferencia entre dos pesadas, tomando siempre como referencia la inicial, para tener la variación de peso de la masa correspondiente de cada mitad de probeta en los diferentes periodos de tiempo establecidos para la prueba. El cálculo de los valores medios se obtiene a partir de los valores individuales de cada una de las pesadas se muestra en la Tabla 8.8.

Tabla 8.8

ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD: UNE-EN 1015-18:2003																									
Valores medios de Coeficiente de Absorción "C" (kg/(m ² .min ^{0.5}))																									
dosif	recipiente	Coef C	24 hs	48 hs	72 hs	96 hs	%		dosif	Coef C	24 hs	48 hs	72 hs	96 hs	%		dosif	Coef C	24 hs	48 hs	72 hs	96 hs	%		
A2	agua								G4								R1								
	arena	0,41								0,52										0,14	0,11				
	pañó	0,39	2,03	2,51				84,4			0,50	2,38	2,71					81,4			0,30	3,16			
A2 CL4	agua	1,24	2,73	2,76	2,76	2,77	55,1		G4 CL4	1,25	1,99	2,33	2,35	2,40	48,0		R1 CL4	1,36	2,87	0,00				52,	
	arena	1,21	2,88	3,01	3,02	3,06	60,5			1,24	2,24	2,28	2,30	2,40	48,3				1,31	3,32	3,38				61,
	pañó	1,22	1,47	1,54	1,51	1,48	17,3			1,26	2,28	2,36	2,35	2,40	47,3				1,45	3,25	3,14				53,
A2 CL12	agua	1,63	2,51	2,56	2,59	2,59	37,2		G4 CL12	1,79	2,37	2,42			26,1		R1 CL12	1,80	2,71	2,77				34,	
	arena	1,56	2,50	2,55	2,57	2,58	39,3			1,65	2,32	2,38			30,8				1,76	2,63	2,69				34,
	pañó	1,52	2,46	2,49	2,55	2,53	39,9			1,59	2,27	2,34			32,0				1,61	2,53	2,57				37,
A2 CL20	agua	1,82	2,71	2,80	2,77	2,79	34,8		G4 CL20	1,76	2,54	2,62	2,62	2,64	33,2		R1 CL20	1,76	2,51	2,54	2,58	2,64		33,	
	arena	0,15	1,01	1,09	1,08	1,09	86,4			1,80	2,52	2,58	2,59	2,61	30,9				1,75	2,44	2,48	2,83	2,58		32,
	pañó	1,79	2,63	2,67	2,68	2,69	33,3			1,75	2,51	2,57	2,57	2,59	32,3				1,74	2,46	2,49	2,55	2,60		33,
A2 HL4	agua	1,51	2,74	2,54			40,3		G4 HL4	1,57	2,31	2,35	2,36	2,44	33,3		R1 HL4	1,75	2,89					39,	
	arena	1,56	3,07	3,04	2,65		41,1			1,59	2,33	2,40	2,38	2,23	33,0				1,85	3,12	2,82				34,
	pañó	1,58	2,93	3,00	3,01	3,05	48,3			1,62	2,49	2,08	2,55	2,63	38,5				1,79	3,57	3,49				48,
A2 HL12	agua	2,26	2,72	2,75	2,76	2,83	20,0		G4 HL12	2,01	2,23	2,25	2,28	2,31	13,2		R1 HL12	1,74	2,72	2,78	2,82	2,82		38,	
	arena	2,32	2,61	2,63	2,66	2,74	15,4			1,98	2,28	2,29	2,34	2,34	15,6				1,76	2,70	2,75	2,80	2,80		37,
	pañó	2,26	2,59	2,59	2,65	2,71	16,5			1,95	2,21	2,24	2,27	2,34	16,8				1,65	2,59	2,63	2,68	2,67		38,
A2 HL20	agua	1,87	2,51	2,53	2,55	2,60	28,2		G4 HL20	2,16	2,52	2,54	2,55	2,60	16,7		R1 HL20	1,77	3,08	3,11	3,12	3,14		43,	
	arena	1,87	2,50	2,51	2,54	2,60	28,2			1,97	2,38	2,39	2,41	2,41	18,1				1,77	3,02	3,04	3,05	3,07		42,
	pañó	1,82	2,35	2,38	2,41	2,52	27,7			2,01	2,38	2,40	2,41	2,45	17,7				1,71	3,01	3,05	3,04	3,07		44,
A2 SPL 4	agua	1,26	2,37	2,41	2,43	2,45	48,4		G4 SPL 4	1,52	2,23	2,27	2,31	2,33	34,6		R1 SPL 4	1,22	2,55	2,59	2,61	2,63		53,	
	arena	1,22	2,44	2,48	2,50	2,52	51,4			1,35	2,20	2,23	2,26	2,28	40,7				1,14	2,53	2,55	2,58	2,58		55,
	pañó	1,28	2,48	2,52	2,55	2,56	50,0			1,37	2,12	2,17	2,20	2,21	38,0				1,12	2,49	2,53	2,56	2,57		56,
A2 SPL12	agua	1,49	2,25	2,24	2,26		34,2		G4 SPL12	1,38	1,80	1,84	1,84		24,7		R1 SPL12	1,40	2,68	2,72	2,57			45,	
	arena	1,45	2,27	2,29	2,31		35,7			1,35	1,80	1,82	1,83		26,4				1,28	2,63	2,64	2,66			51,
	pañó	1,44	2,21	2,23	2,25		36,4			1,31	1,77	1,78	1,79		26,4				1,25	2,56	2,61	2,62			52,
A2 SPL 20	agua	2,00	2,45	2,47	2,49		19,4		G4 SPL 20	1,47	1,99	2,03	2,02		27,4		R1 SPL 20	1,44	2,74	2,77	2,78			48,	
	arena	1,50	2,36	2,38	2,40		37,7			1,42	1,91	1,93	1,95		27,2				1,34	2,78	2,80	2,80			51,
	pañó	1,89	2,79	2,81	2,84		33,4			1,24	1,89	1,95	1,93		35,9				1,35	2,66	2,70	2,71			50,
A2 CEM	agua	1,95	2,95	2,99		2,99	34,7		G4 CEM	1,94	2,46	2,48	2,48	2,48	21,6		R1 CEM	1,98	2,78	2,79	2,80	2,83		29,	
	arena	1,99	2,91	2,93		2,93	32,2			1,74	2,57	2,60	2,58	2,58	32,3				1,96	3,03	3,04	3,04	3,06		35,
	pañó	1,86	2,92	2,94		2,95	36,8			1,94	2,37	2,42	2,36	2,36	17,7				1,92	2,81	2,82	2,83	2,85		32,
A2 CEM CL	agua	1,55	3,25	3,31		3,29	53,0		G4 CEM CL	1,54	2,95	2,99	2,98	2,98	48,2		R1 CEM CL	1,59	3,60	3,63			3,65	13,	
	arena	1,51	3,23	3,22		3,24	53,3			1,53	2,52	2,86	2,85	2,85	46,3				1,71	3,56	3,59			3,62	52,
	pañó	1,46	3,11	3,11		3,12	53,3			1,54	2,87	2,89	2,88	2,88	46,5				1,61	3,55	3,56			3,58	55,
BF	agua	0,01	1,28	1,55			99,4																		
	arena	0,19	1,39	2,37			91,8																		
	pañó	0,23	1,29	1,95			88,2																		

8.3.3.3.- PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

La norma de referencia UNE-EN 1015-19:1999/A1: 2005, que establece la metodología del ensayo para determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros para revoco y enlucido es de aplicación para los morteros de uso en el exterior, también se considera para aplicar el procedimiento operatorio para el ensayo de los morteros de arcilla para cuantificar su capacidad de regulación del intercambio de vapor de agua con el medioambiente.

Estos morteros al estar compuestos básicamente con tierra arcillosa, son vulnerables a la acción directa del agua, aunque una superficie revestida de revoco de arcilla que absorbe agua por capilaridad debido a la lluvia, cuando esta no sea constante, tiene la propiedad de eliminarla como vapor de agua en el proceso de secado. Está comprobado que este producto busca, de forma permanente, el equilibrio con la humedad relativa del aire del ambiente donde se usa como revestimiento y permite la respirabilidad del muro que cubre, por eso es importante valorar experimentalmente la capacidad de paso de vapor de agua o la permeabilidad que pueden presentar ciertas dosificaciones.

- Procedimiento

Se emplean para este ensayo diez (10) probetas cilíndricas de 160 mm de diámetro y 15 mm de espesor para cada una de las dosificaciones de morteros de arcilla, con las mismas características que define la norma UNE-EN 1015-19:1998. Dada la cantidad de probetas que hay que prever para las 37 dosificaciones, se encargan a un herrero la fabricación de unas anillas de chapa galvanizada conformada con las dimensiones necesarias para poder tener un molde adecuado de 15 mm de espesor, todas del mismo diámetro (Foto 8.29).



Foto 8.29: Moldeado de probetas circulares de Ø 160 mm con anillas de acero galvanizado sobre placas metálicas



Foto 8.30: Conservación de probetas durante los primeros 7 días después de su fabricación envueltas en bolsas de polietileno con > 95% de H.R.

Las probetas se fabrican mediante el procedimiento descrito en el apartado 8.2.2 de este capítulo (Foto 8.30) y después del proceso de curado, a los 28 días, se pesan individualmente y se miden cuatro valores de su espesor, estableciéndose un cuadrante para fijar los valores de los extremos de cada diámetro en cruce de ejes ortogonales (Foto 8.31).

A continuación, se procede a realizar el ensayo para lo que se seleccionan cinco (5) probetas para ser colocadas en los recipientes circulares de diámetro de 160 mm, que contienen una disolución saturada de nitrato potásico (KNO_3) que genera una humedad relativa (HR) del 93,2 % con el objeto de medir el flujo ascendente de vapor de agua a través del material y otras cinco (5) probetas en recipientes que contienen una disolución saturada de cloruro de litio (LiCl) que proporciona una HR del 12,4 % para medir el flujo en sentido contrario de vapor de agua a través del material (Foto 8.31). Estos recipientes difieren del normalizado por la UNE-EN 1015-19:1998, ya que se utilizan piezas de plástico circulares que se adaptan específicamente para este ensayo, ya que por su forma y volumen, cumplen con las condiciones de soporte que requiere cada probeta.



Foto8. 31: Probetas circulares Ø 160 mm pesadas individualmente y luego de ser colocadas en el recipiente del ensayo con su sellado perimetral

En cada recipiente se vierten las disoluciones correspondientes y se coloca la probeta apoyada sobre soportes que la elevan de la disolución dejando una capa de aire como mínimo de 10 mm, y se sella todo el perímetro de la probeta, en contacto con el borde superior del recipiente, con una junta de estanqueidad plástica colocada a presión. Posteriormente, se pesa cada uno de los recipientes con su

respectiva probeta y se colocan los diez en la cámara de conservación que debe mantener una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $50\% \pm 5\%$ (Foto 8.32).

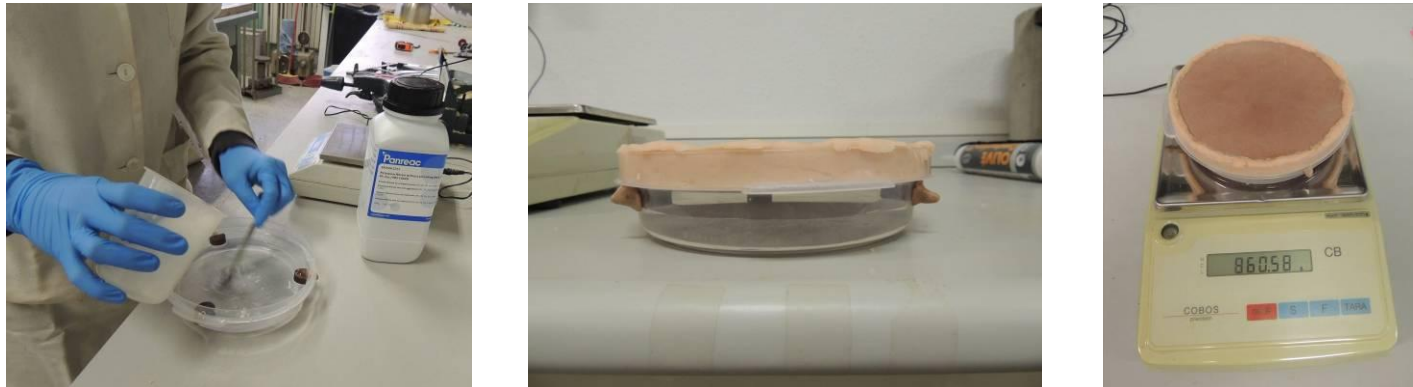


Foto 8.32: Proceso de preparación de la disolución salina, colocación de probeta sobre soportes del recipiente de ensayo que la separan mínimo 10 mm de la disolución y pesada del recipiente con la probeta sellada perimetralmente

El procedimiento de seguimiento y control de la variación de peso de las probetas se establece con la toma de datos durante dos días consecutivos, el primer día del ensayo se pesan los recipientes con las probetas a intervalos que van incrementándose cada vez 5 minutos desde el inicio de la primera pesada. Al día siguiente, después de 24 horas del inicio del ensayo, se pesan los recipientes cada hora, estableciéndose como mínimo una secuencia de pesadas de 6 horas consecutivas para cada dosificación. (Foto 8.33)



Foto 8.33: Conjunto de 10 probetas dispuestas para la realización del ensayo en las condiciones de humedad y temperatura establecidas.

La toma de todos los datos del seguimiento del ensayo, como para todos los ensayos, se hace en fichas diseñadas para tal fin que se adjuntan en el documento ANEXO. Igualmente cabe señalar que a la finalización del ensayo, las probetas al estar contaminadas con las sales de nitrato potásico (KNO_3) y cloruro de litio (LiCl) (Foto 8.34), se consideran material de riesgo y por seguridad son separadas para su eliminación controlada a través de una empresa que las retira del Laboratorio.



Foto 8.34: Estado de las probetas a las 24 horas de iniciado el ensayo.

- Valores medios obtenidos de permeabilidad al vapor de agua

Mediante el control del peso de los recipientes en las condiciones de humedad relativa y temperatura a la que se mantienen las probetas durante los dos días estipulados, se traza una gráfica de dispersión con los valores de la masa del recipiente en función del tiempo y cuando tres puntos se pueden colocar en línea recta se considera que las condiciones son estables. Se determina la permeanza Λ en $\text{kg}(\text{m}^2.\text{s}.\text{Pa})$ que multiplicada por el espesor de cada probeta, permite obtener la permeabilidad al vapor de agua en W_{up} en $\text{kg}(\text{m}.\text{s}.\text{Pa})$ y el coeficiente de difusión del vapor de agua (μ), siendo esta última magnitud la que debe declarar el fabricante para comercializar el producto. (Tabla 8.9)

Hay que tener en cuenta que el ensayo de las treinta y siete (37) dosificaciones se realiza en diferentes meses donde las variables de condiciones de humedad relativa y temperatura del Laboratorio ha sido un condicionante más ya que no se ha dispuesto de cámara con ambiente controlado hasta la última fase de la experimentación.

Tabla 8.9

Datos según UNE-EN 1015-19:1998							COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD				
DOSIFICACION		T (°C)	HR (%)	ΔP(Pa)	ΔG(g) Cloruro	ΔP(Pa)	ΔG(g) Nitrato	Cloruro real (HR baja) (μ)	Nitrato real (HR alta) (μ)	Cloruro (HR baja) (μ)	Nitrato (HR alta) (μ)
1	A2	21	55	877,49	0,08	698,94	-0,10	9,00	5,70	9,00	8,50
2	A2CEM	18	54	851,97	0,09	820,02	-0,07	7,45	9,08	7,71	11,33
3	A2CEMCL	17	63	975,27	0,14	601,94	-0,10	5,35	4,45	4,76	7,91
4	A2CL04	19	45	713,69	0,05	1068,77	-0,15	12,36	5,61	15,40	5,27
5	A2CL12	18	43	625,37	0,04	1046,62	-0,10	13,78	8,19	19,65	7,88
6	A2CL20	18	45	666,57	0,06	1005,42	-0,12	8,39	6,85	11,29	6,89
7	A2HL04	27	61	1748,86	0,14	1091,83	-0,24	10,97	3,41	5,19	3,11
8	A2HL12	27	53	1463,26	0,10	1377,43	-0,13	12,16	8,77	7,06	6,27
9	A2HL20	20	65	1228,97	0,10	663,37	-0,12	9,70	3,44	6,75	5,59
10	A2SPL04	18	65	1078,57	0,08	593,42	-0,11	10,48	3,48	8,43	6,41
11	A2SPL12	17	61	936,47	0,09	640,74	-0,10	9,15	4,48	8,55	7,48
12	A2SPL20	17	56	839,47	0,04	737,74	-0,15	16,25	3,70	17,06	5,33
13	G4	21	55	1060,65	0,21	949,00	-0,12	3,93	6,44	3,15	6,90
14	G4CEM	17	46	645,47	0,05	931,74	-0,08	10,99	9,25	15,21	10,09
15	G4CEMCL	18	61	996,97	0,10	675,82	-0,09	7,88	5,27	6,89	8,19
16	G4CL04	20	56	1018,37	0,04	873,97	-0,11	15,95	6,18	13,69	7,25
17	G4CL12	20	50	879,84	0,05	1010,88	-0,12	15,58	6,32	15,62	6,29
18	G4CL20	19	67	1197,69	0,07	584,77	-0,08	13,59	6,16	9,81	11,12
19	G4HL04	18	47	707,77	0,08	964,22	-0,13	6,65	5,93	8,43	6,25
20	G4HL12	17	58	878,27	0,08	698,94	-0,10	9,02	5,71	9,03	8,55
21	G4HL20	17	56	839,47	0,12	737,74	-0,18	5,20	2,78	5,48	4,05
22	G4SPL04	18	66	1099,17	0,15	572,82	-0,08	6,08	6,10	4,73	11,28
23	G4SPL12	17	55	820,07	0,03	757,14	-0,11	19,09	5,54	20,52	7,62
24	G4SPL20	18	64	1057,97	0,13	614,02	-0,09	5,35	6,25	9,24	5,09
25	R1	20	60	1111,97	0,07	780,37	-0,15	13,44	3,83	10,49	5,15
26	R1	24	52	1190,21	0,08	1207,10	-0,12	11,92	7,51	8,64	6,18
27	R1CEM	22	52	1051,24	0,05	1083,07	-0,15	17,61	6,16	14,63	5,71
28	R1CEMCL	22	57	1183,74	0,07	950,57	-0,13	12,42	5,50	9,06	5,89
29	R1CL04	20	64	1205,57	0,11	686,77	-0,15	9,18	3,32	6,51	5,19
30	R1CL12	23	51	1088,58	0,08	1169,62	-0,17	13,08	6,11	10,45	5,19
31	R1CL20	22	58	1210,24	0,09	924,07	-0,14	13,57	6,02	9,68	6,65
32	R1HL04	26	45	1106,46	0,09	1574,21	-0,26	10,99	4,94	8,61	2,94
33	R1HL12	27	52	1427,56	0,08	1413,13	-0,20	14,29	6,87	8,56	4,73
34	R1HL20	20	65	1228,97	0,10	663,37	-0,12	9,70	3,97	6,75	6,39
35	R1SPL04	18	59	954,97	0,04	717,02	-0,20	17,85	2,41	16,39	3,74
36	R1SPL12	18	57	913,77	0,07	758,22	-0,16	13,14	3,67	12,63	5,12
37	R1SPL20	17	52	761,87	0,08	815,34	-0,13	7,80	4,82	9,11	6,13
38	BF	18	52	810,77	0,05	861,22	-0,16	14,01	3,87	15,26	4,66

- COMPORTAMIENTO MECÁNICO

8.3.3.4.- COMPACIDAD: MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE ULTRASONIDOS

El ensayo de la definición de la compacidad de los morteros de arcilla se realiza con la determinación de la velocidad de propagación de ultrasonidos a través de probetas prismáticas, como método no destructivo para evaluar el producto sin modificar sus condiciones de servicio.

En este ensayo se utilizan tres (3) probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm, extraídas de la serie de nueve (9) probetas ejecutadas para los ensayos de resistencia y que, además en su proceso de curado, sirven para el control de la estabilidad dimensional, tal como ya se hizo referencia en el apartado 8.2.2; de esta manera se evita triplicar la fabricación de probetas y se aprovecha el procedimiento operatorio de los ensayos no destructivos para hacer pruebas y seguimiento con toma de datos que permiten ahorrar tiempo en la fase experimental.

- Procedimiento

El ensayo se inicia tomando las dimensiones de cada probeta para contar con la información del tamaño real de cada una de las piezas y las medidas exactas de la distancia que habrá entre los palpadores. Para esta tarea se utiliza un calibre pie de rey manual, con precisión de decimales y fracciones de milímetros, para comprobar la longitud de probeta y para medir el ancho se emplea un calibre digital, precisión ± 0.2 mm

La medición de la compacidad se realiza con un equipo Pundit Lab+ con generación de ondas longitudinales y palpadores de contacto directo de 38 mm de diámetro que contienen un emisor y receptor de ondas de ultrasonidos, que mediante intervalos de un segundo, aproximadamente, envía impulsos eléctricos y dan un valor por el sistema de transmisión directa o en caras opuestas¹⁶ con una frecuencia de 50 KHz. Las mediciones se realizan colocando el emisor en la cara opuesta del receptor primero en sentido longitudinal de la pieza y luego en tres (3) posiciones en sentido transversal, es decir en el ancho de la probeta, dos en cada extremo y una central (Foto 8.35). Toda la información se registra en fichas diseñadas específicamente para el seguimiento de este ensayo detalladas en el documento ANEXO.

¹⁶ El sistema de caras opuestas o de transmisión directa es el más recomendable para poder medir en probetas de Laboratorio las condiciones de compacidad del producto. Es el método en el que se emplean palpadores cilíndricos que con mayor sensibilidad facilitan datos con una determinación exacta de longitud de recorrido (Huete, 1993)



Foto 8.35: Proceso de curado de probetas, control de peso y dimensiones para realizar el ensayo de compacidad por transmisión de ultrasonidos

- Valores medios de compacidad

El cálculo de los valores de compacidad con la medición por ultrasonido se realiza mediante el cálculo de la velocidad de propagación, aplicando la siguiente fórmula $V = d/t$ (donde V = velocidad de propagación de la onda, d = distancia entre emisor y receptor en mm, es decir el espesor de la probeta, y t = tiempo de propagación determinado en microsegundos μs)

Los valores medios que se obtienen de las velocidades obtenidas de cada una de las probetas, tanto en sentido longitudinal como con las mediciones en tres puntos de su sección transversal se describen en la Tabla 8.10. El cálculo de los valores medios generales se establece ya que en el conjunto de las tres probetas los resultados de la medición ha resultado uniforme. El desarrollo de los datos completos se adjunta en la documentación complementaria en el ANEXO.

Tabla 8.10

ENSAYO de ULTRASONIDO										
Valores medios de V mm/μs										
dosificación	longitud	ancho		dosificación	longitud	ancho		dosificación	longitud	ancho
A2	1,59	1,55		G4	1,28	1,24		R1	1,73	1,64
A2CL4	1,19	1,24		G4CL4	1,17	4,17		R1CL4	1,10	1,12
A2CL 12	1,36	1,49		G4CL12	1,47	1,49		R1CL12	1,28	1,18
A2CL20	1,46	1,50		G4CL20	1,61	1,59		R1CL20	1,41	1,33
A2HL4	1,14	1,19		G4HL4	1,25	1,25		R1HL4	1,17	1,19
A2HL12	1,34	1,32		G4HL12	1,36	1,28		R1HL12	1,33	1,38
A2HL20	1,50	1,42		G4HL20	1,42	1,34		R1HL20	1,46	1,40
A2SPL4	1,21	1,15		G4SPL4	1,15	1,09		R1SPL4	1,27	1,22
A2SPL12	1,27	1,25		G4SPL12	1,44	1,35		R1SPL12	1,50	1,28
A2SPL20	1,53	1,47		G4SPL20	1,55	1,44		R1SPL20	2,13	1,03
A2CEM	1,16	1,24		G4CEM	1,26	1,30		R1CEM	1,15	1,24
A2CEMCL	1,37	1,42	G4CEMCL	1,37	1,40	R1CEMCL	1,29	1,39		
BF	1,45	1,32								

8.3.3.5.-RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN Y A COMPRESIÓN

El ensayo de flexotracción se realiza con nueve (9) probetas prismáticas con dimensiones 40 x 40 x 160 mm. Las mismas probetas valen para los dos ensayos, todas las probetas que se rompen a flexión, en dos mitades, posteriormente se utilizan para la prueba de rotura a compresión donde cada mitad se somete al ensayo por separado. Las piezas se fabrican según el procedimiento establecido por la misma norma que sirve de referencia para las pruebas de resistencia UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007.

Los ensayos para la determinación de la resistencia a la flexión y a compresión del mortero de arcilla en estado endurecido se realizan con una prensa multiensayo de 300 kN, de la casa Codein S.L., modelo MCO-30, número de serie 139. (Foto 8.36 a 8.38),



Foto 8.36: Proceso de fabricación de probetas prismáticas



Foto 8.37: Prensa multifunción controlada desde ordenador con su respectivo software de apoyo

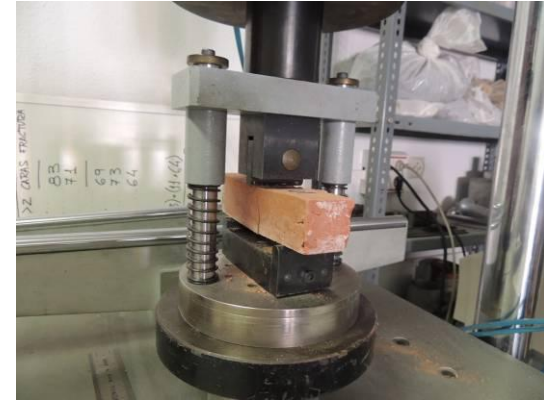


Foto 8.38: imágenes de dispositivos metálicos para rotura de probetas a flexión (arriba) y compresión (abajo)

- Procedimiento ensayo flexotracción

Para el ensayo de las probetas sometidas a flexotracción, la prensa está provista de dispositivos adaptables que cumplen con los requisitos que detalla la norma de referencia, como la posibilidad de aplicar una carga de rotura, controlada por ordenador, sobre las probetas colocadas biapoyadas y centradas encima de unos rodillos metálicos paralelos con una separación entre sí de 100 mm y un pistón de 160 mm² (40 x 40 mm).

Las probetas se colocan centradas lo más posible de forma simétrica sobre los rodillos, para que reciban en el centro de las piezas la carga máxima admisible de rotura a flexión sin aceleraciones y que se aumenta progresivamente con una velocidad uniforme de 1 kgf/s (10 N/s) (Foto 8.39). El software del ordenador que maneja la prensa cuando la probeta llega a la rotura, se detiene automáticamente marcando el valor de la resistencia de la prueba individual, y permite guardar los datos del valor resultante en un archivo cuya designación coincide con la nomenclatura asignada a cada probeta.

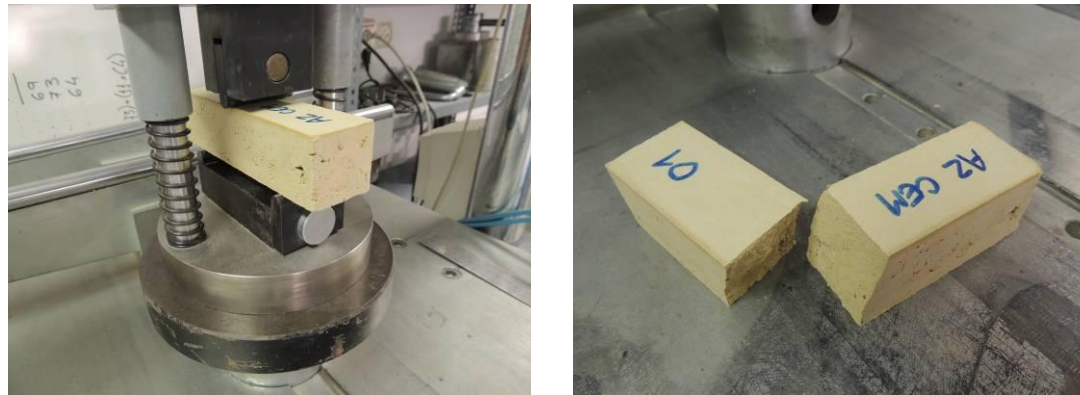


Foto 8.39: Proceso de rotura a flexión de probeta sobre dispositivo metálico y probeta partida en dos mitades

-Valores medios obtenidos de flexión

Los valores que se obtienen de cada una de las amasadas por probeta se describen en la Tabla 8.11. El cálculo de los valores medios se obtiene de las probetas que se consideran validas y se marcan con color las que se deben descartar por la desviación de valores que presentan.

Tabla 8.11

ENSAYO de RESISTENCIA a FLEXIÓN (N/mm2) : UNE- EN 1015-11:2000																																	
PROBETAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	VALOR MEDIO	PROBETAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	VALOR MEDIO	PROBETAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	VALOR MEDIO	
A2	0,61		0,63	0,62	0,50	0,61	0,47	0,61	0,56	0,56	G4	0,23	0,23	0,35	0,33	0,36	0,36	0,35	0,37	0,32	0,32	R1			1,05	1,05	1,02		1,14	1,11	1,09	1,02	1,07
A2 CL4	0,30	0,37			0,40	0,39	0,44	0,44	0,35	0,39	G4 CL4	0,42	0,45	0,33	0,46	0,38	0,39	0,31	0,43	0,30	0,39	R1 CL4				0,73	0,63	0,68	0,64	0,71	0,65	0,67	0,67
A2 CL12		0,69	0,57	0,55	0,52	0,38	0,48	0,52	0,62	0,62	G4 CL12	0,67	0,52	0,61	0,64	0,54	0,54	0,60	0,54	0,67	0,59	R1 CL12	1,02	1,03	0,97	0,97	0,85	0,98		0,79	0,85	0,93	
A2 CL20		0,64			0,57	0,72	0,66	0,51	0,70	0,63	G4 CL 20	0,52	0,62	0,56	0,56		0,48	0,43	0,50	0,52	0,52	R1 CL20		0,95	0,99	1,15	1,06	1,01	0,96	0,94	0,96	1,00	
A2 HL4		0,40	0,45	0,46	0,53	0,52	0,44	0,38	0,45	0,45	G4 HL4	0,42		0,4	0,40	0,34	0,33	0,36	0,35	0,34	0,37	R1 HL4		0,71	0,86	0,80	0,76	0,71	0,94	0,77	0,71	0,78	
A2 HL12	0,58	0,57	0,65	0,66	0,62	0,70	0,66	0,71	0,68	0,65	G4 HL12	0,69		0,66	0,63	0,73	0,72	0,76		0,67	0,69	R1 HL12	0,82	0,98	1,00	0,98	0,92	0,97	0,95	0,85	0,85	0,92	
A2 HL20	0,50	0,67	0,54	0,63		0,55				0,58	G4 HL20		0,72	0,68	0,70	0,77		0,68	0,60	0,77	0,70	R1 HL20	0,80	0,95	1,00	0,69	0,81	0,97	0,79			0,86	
A2 SPL4	0,68		0,74	0,65	0,77	0,66		0,70	0,73	0,71	G4 SPL4							0,54	0,54	0,64	0,57	R1 SPL 4				0,83	0,85	0,78	0,81	0,82	0,81	0,82	
A2 SPL12	0,87		1,02	0,93	0,80	0,94	0,91		0,89	0,91	G4 SPL12							1,00	0,94	0,87	0,94	R1 SPL12				1,47	1,38	1,27	1,21	1,50	1,32	1,36	
A2 SPL20	1,20	1,01	1,19	1,22	0,99	1,06		1,08	1,28	1,13	G4 SPL20							0,82	1,06	1,27	1,05	R1 SPL20				1,14	1,17		1,16	1,35	1,25	1,21	
A2 CEM	1,06			0,86	0,84	0,92	0,87	0,84	0,91	0,9	G4 CEM	0,96	1,03	0,84	0,82	0,68	0,87	0,72	0,89	0,82	0,85	R1 CEM				0,68	0,79	0,63	0,65	0,81	0,75	0,72	
A2 CEM CL	0,97	0,82		0,81	0,82	0,77	0,84	0,86	0,93	0,85	G4 CEM CL	0,79	0,83	0,80	0,91	0,83	0,83	0,84	0,83		0,83	R1 CEM CL	0,93	1,02	1,00	0,84		0,81	0,88	0,92	0,82	0,90	
BF				0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,81																							

- Procedimiento ensayo compresión

Para ensayar cada mitad de la probeta previamente partida y someterlas a la carga de compresión, se cambia el dispositivo de la prensa por otro con una base y un pistón ambos de base cuadrada 160 mm^2 (40 x 40 mm), para apoyar la pieza lo más centrada posible, dejando no menos de 16 mm para cada lado y totalmente apoyada.

Las probetas sometidas a la carga de rotura por compresión, reciben una carga máxima admisible de rotura sin aceleraciones y se aumenta progresivamente con una velocidad uniforme de 10 kgf/s (100 N/s) en el centro de las piezas (Foto 8.40). Los valores de los datos mecánicos obtenidos se transmiten igualmente al software de la prensa que permite su lectura en la pantalla del ordenador ubicado al lado del dispositivo, grabarlos e importarlos a archivos e imprimirlos. De esta manera, los archivos de datos pueden ser adaptados a cualquier base de datos u hoja de cálculo, en este caso se pasan a tablas Excel, para el análisis de los resultados de la prueba.



Foto 8.40: Proceso de rotura a compresión de probeta sobre dispositivo metálico y probeta con la marca del aplastamiento en el centro de cada pieza ensayada

Las probetas quedan completamente destruidas, todos los trozos y restos se guardan en bolsas en zonas de acopio de muestras para futuras investigaciones (Foto 8.41).



Foto 8.41: Conjunto de probetas después del ensayo a flexión y las mismas probetas tras el ensayo de compresión (en este caso dosificación CEMCL para los tres colores de morteros de arcilla).

- Valores medios obtenidos de compresión

Los valores que se obtienen de cada una de las amasadas por probeta se describen en la Tabla 8.12. El cálculo de los valores medios se obtiene de las probetas que se consideran validas y se marcan con color las que se deben descartar por la desviación de valores que presentan.

Todas las tablas, con los datos de los valores obtenidos en estos dos ensayos, son importadas en archivos a una hoja de cálculo. Debido al elevado número de probetas ensayadas resultado de las treinta y siete (37) amasadas analizadas en este trabajo de investigación se genera un volumen de datos que debe adjuntarse aparte en el ANEXO de documentación complementaria.

Tabla 8.12

ENSAYO de RESISTENCIA a COMPRESIÓN (N/mm ²) : UNE- EN 1015-11:2000																			
PROBETAS	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	VALOR MEDIO
A2	1,36	1,22		1,41	0,99	1,22	1,20	1,16	0,92	1,29	1,08	1,51	1,42	1,30	1,29	0,35	1,18	1,25	1,18
A2 CL4	0,76	0,76	0,82	0,73	0,91	0,73	1,06	0,84	0,95	0,95	0,77	0,97	0,89	1,10	0,98	1,10	0,97	0,96	0,90
A2 CL12	1,60	1,71	1,56	1,54	1,72	1,51	1,58	1,49	1,57	1,41		1,46	1,39	1,59	1,24	1,25	1,18	1,32	1,48
A2 CL20	1,78	1,52	1,90	1,81	2,02	1,53	1,65	1,73	1,49	1,36	1,62	1,33	1,90	1,79	1,44	1,57	1,73	1,58	1,65
A2 HL4	0,70		0,52	0,67	0,52	0,73	0,69	0,57	0,61	0,60	0,77	0,81	0,61	0,59	0,63	0,59	0,66	0,70	0,65
A2 HL12	1,02	0,85	0,98	0,76	0,96	1,06		1,02		0,81	1,01	0,93	1,06	1,01	0,90	1,16	1,08	1,08	0,98
A2 HL20		1,07	1,21	1,34	1,25	1,28	1,13	1,40	1,23	1,16	1,00	1,12	1,19	1,38	1,32	1,10	1,17	1,22	1,21
A2 SPL 4	1,01	1,07		0,94		1,03	0,96	1,11	0,86	0,97	0,85	0,99	0,61	0,85	0,73	0,81	0,85	0,72	0,90
A2 SPL12	0,96	1,26	1,30	1,26	1,13	1,30	1,10	1,14	0,99		1,11	1,00	1,04	0,99	0,98	0,95	1,01	1,04	1,09
A2 SPL 20	1,79	1,95	1,71	1,81	1,45		1,46		1,38	1,63	1,73	1,67	1,36		1,44	1,38	1,40	1,43	1,57
A2 CEM							1,37	1,30	1,34	1,29	1,51	1,31	1,58	1,21	1,42	1,40	1,47	1,45	1,39
A2 CEM CL							1,86	1,90	1,73	1,93	1,66	1,82	1,74	1,65	1,95	1,62	2,12	1,85	1,82
G4	0,44	0,50	0,39	0,44	0,60	0,60	0,53	0,50	0,48	0,49	0,52	0,74	0,41	0,42	0,56	0,61	0,54	0,55	0,52
G4 CL4	0,90	0,66	0,82	0,71	0,84	0,70	0,72	0,91	0,86	0,86	0,72	0,86	0,74	0,84	0,96	0,95	0,91	0,75	0,82
G4 CL12	1,51	1,09	1,41	1,52	1,37	1,43	1,28	1,39	1,58	1,41	1,15	1,27	1,45	1,54	1,53	1,49	1,22	1,17	1,38
G4 CL20	1,54	1,42	1,28	1,28	1,38			1,65	1,23		1,61	1,51	0,87		1,03	0,93	0,90	1,03	1,26
G4 HL4	0,78	0,89	0,75	0,95	1,03	0,98	0,84	0,83	0,84	0,80	0,85	0,74	0,86		0,72	0,79	0,82	0,92	0,84
G4 HL12	0,79	0,81	0,74	0,85	0,83	1,01	0,81	0,73	0,76	0,63	0,73	0,89		0,95	0,85	0,90	0,84	0,96	0,83
G4 HL20	0,85	0,94	0,78	0,90	0,82	0,86	0,72	0,86	0,88	0,72	0,81	0,90	0,79	0,93		0,78	0,95	0,91	0,85
G4 SPL 4													0,62	0,73	0,63	0,63	0,73	0,76	0,68
G4 SPL12													0,62	0,73	1,21	1,23	1,30	1,15	1,04
G4 SPL 20													1,37	1,28	1,22	1,41	1,34	1,26	1,31
G4 CEM							1,43	1,62	1,48	1,58		1,66	1,45	1,58			1,66	1,69	1,57
G4 CEM CL							1,81		1,68	1,43	1,53	1,41	1,70	1,54	1,30	1,63	1,80		1,58
R1	1,69	1,46		1,72		1,95		1,88	1,80	1,70	1,79	1,62	1,82	1,79	1,61	1,66	1,37	1,63	1,70
R1 CL4	0,73	0,70	0,72	0,67	0,73	0,66	0,81	0,71		0,84	0,72	0,76	0,79	0,77	0,66	0,65	0,69	0,60	0,72
R1CL12	0,98	0,91	0,92	1,04	1,08	1,09	1,12	0,86	0,75	0,88	0,90	0,89	0,99	0,96	0,81	0,90	0,82	0,85	0,93
R1 CL20	1,48	1,53	1,44	1,76	1,54	1,35	1,67		1,79	1,80	1,30	1,27	1,40	1,45	1,18	1,23	1,47	1,37	1,47
R1 HL4	0,87	0,90	0,88	0,88	0,96	0,85	0,91	0,95	0,96	0,97	0,79	0,84	1,06	1,01	0,99	0,92	1,00	1,00	0,93
R1 HL12	1,15	1,17	1,25	1,22	1,06	1,18		1,20	1,27	1,31		1,26	1,10	1,19	1,21	1,18	1,40	1,25	1,21
R1 HL20	1,39	1,50	1,23	1,30	1,33	1,33	1,32	1,47	1,26	1,47	1,25	1,54	1,28	1,58	1,43	1,37		1,39	1,38
R1 SPL 4	0,86	0,85	0,89	0,89	0,95	0,84	0,74	0,97	0,84	0,84	0,78		0,81	0,80	0,87	0,87	0,89	0,80	0,85
R1 SPL12	1,23	1,17	1,28	1,26	1,30	1,11	1,20	1,31	1,15		0,97		1,00	1,11				1,22	1,18
R1 SPL 20	1,21	0,98	1,47	1,14	1,28	1,19	1,21	1,44	1,36	1,46		1,48	1,17	1,18	1,49		1,08	1,50	1,29
R1 CEM							1,50	1,32	1,57	1,63	1,28	1,53	1,15	1,70	1,32	1,50	1,34	1,53	1,34
R1 CEM CL							1,70	1,84	1,57	1,59	1,82	1,62	1,61	1,57	1,58	1,43	1,51	1,65	1,22
BF	1,73	1,69	1,71			1,74	1,69	1,68	1,48	1,68	1,67	1,57		1,70	1,64		1,56	1,76	1,66

COMPORTAMIENTO DE SERVICIO

8.3.3.6 .- ADHERENCIA AL SOPORTE

El ensayo de resistencia a la adhesión permite evaluar la capacidad de los revocos de garantizar buena adherencia a diferentes tipos de soportes. Para la realización de esta prueba se llega a la conclusión que no sería relevante repetir las treinta y siete (37) amasadas que se diseñan para esta fase experimental, ya que hay morteros que, por su dosificación, no aportarían un valor suficientemente diferenciado para la comprobación de los resultados.

Por lo tanto, para este ensayo se reduce el número de amasadas y se definen dieciséis (16) dosificaciones seleccionadas del total de amasadas. Se establece como parámetro de elección los valores de las dosificaciones de mayor resistencia a los ensayos de compresión y estabilidad al desgaste con la exposición al exterior. Los morteros sin aditivos y los que contienen en su dosificación un bajo contenido de cal, un 4% tanto cal aérea como hidráulica, muestran pocas diferencias entre unos y otros en la mayoría de los valores obtenidos. Se decide solo aplicar muestras con morteros sin aditivos y descartar todas las dosificaciones con aditivos al 4%. Por otro lado, los morteros con aditivos para dosificaciones con 12% de cal hidráulica, presentan resultados poco relevantes en durabilidad y resistencia mecánica y tampoco se aplican en estas muestras. Se desechan, además, los morteros con aditivos de cemento ya que la intención es estudiar la respuesta de morteros naturales sobre soportes estándares. En cambio se utilizan todas las dosificaciones que contienen un 20% de los tres tipos de cales.

Para el ensayo se establece un formato similar sobre el que aplicar todas las muestras aunque se diversifica el material, por lo que se organizan las muestras para ser aplicadas en Laboratorio en bases soportes horizontales sobre adobes de tierra cruda y paja, placas de piedra natural (calcarenita), rasillones cerámicos y baldosas de morteros de cemento. También se decide experimentar con una superficie vertical de tabique divisorio de paneles de yeso laminado y acabado con pintura al gotelé. Para tener parámetros de comparación se eligen superficies limpias, rugosas y sobre las que se puede aplicar el mortero de arcilla directamente o posteriormente al tratamiento previo de la base soporte con un producto de fijación como capa de transición de adherencia de agarre entre el soporte y el revestimiento.

Se preparan las muestras de las diferentes dosificaciones a medida que se programa la aplicación directa sobre los diferentes tipos de soportes. La preparación de las mezclas de morteros de arcilla siguen las pautas establecidas para todos los demás ensayos, en cuanto a dosificación de agua, tiempos de reposo y fabricación de las amasadas. El tamaño de las muestras se define según el soporte sobre la que se aplica, cuya dimensión se detalla en los apartados que se desarrollan para especificar cada uno de los procesos según el material del soporte, y su posición en la ejecución de la prueba, en horizontal o vertical. Asimismo, se decide aplicar el mortero directamente sobre el soporte y, además, sobre el soporte tratado con un producto fijador para verificar las posibles variaciones que pueden resultar al utilizar diferentes materiales para revestir.

Como productos de fijación a las bases se aplica, en primera instancia, para todos los soportes excepto los adobes, un fijador a base de silicato con tratamiento antimanchas, denominado XT-13, que se adquiere directamente de la empresa Ecoclay. En los adobes, al ser un soporte de tierra cruda y paja, se aplica como capa de fijación una lechada de cal aérea. Si en los soportes de piedra, cerámica cocida y mortero de cemento el fijador de silicato no garantiza valores aceptables en el resultado del ensayo, se cambia el procedimiento a la aplicación de una capa de lechada de cal, similar al método que se realiza con los adobes.

Para la aplicación de las muestras que, en general para todos los tipos de soportes, equivale a una capa de acabado de revoco liso de poco espesor (siempre < 5 mm), se utiliza una llana japonesa extra flexible “kaku-gote”¹⁷ de punta recta, de lámina de acero inoxidable de 0,3 mm, con mango de madera natural diseñada para la aplicación de revocos y capas de enlucidos de acabado. Además, todo el proceso de ejecución necesita de otros recursos e instrumental disponible en el Laboratorio como pulverizadores de agua, esponjas de poliuretano para empapar previamente las superficies y humectarlas antes de la aplicación del revoco, cintas adhesivas para el replanteo de muestras, etc.

En todas las muestras se aplican las dos capas de revoco hasta conseguir el espesor del acabado total (siempre < 5 mm) y se regulariza la superficie de la muestra tratando de dejarla lo más lisa posible, sin demasiados pases de llana. Solo en las muestras de mortero base fibra (BF), al tratarse del mortero base de los revocos, se aplica como una sola capa de espesor puede ser entre 5 a 8 mm. Cuando se acaba de definir la muestra y mientras el mortero está aún en estado fresco, se estampan 5 círculos de Ø 50 mm con la anilla de acero, diseñada para tal fin, y así se marcan las probetas para la obtención de la resistencia a la adhesión.

¹⁷ Las llanas japonesas se caracterizan por ser de chapa de acero inoxidable muy flexibles y fácilmente maleables a la presión de la mano del aplicador del mortero. A través de técnicas ancestrales y como una tradición de artesanos en el oficio se ha perfeccionado el diseño de las mismas, y se puede obtener un modelo diferente según las necesidades de acabado que se quiera dar la capa de revoco o enlucido. Como ejemplo se puede consultar <http://tiendabioconstruccion.com/33-herramientas-para-revocos> (Acceso 01/08/2015)

Después de la aplicación del mortero de arcilla, todas las muestras sobre soporte horizontal se cubren con doble capa de film de polietileno para que el proceso de secado y curado durante los primeros 7 días sea lento, gradual y con una humedad de un $95 \pm 5\%$, de la misma manera que se hace para todas las probetas de otros ensayos. Las muestras realizadas en soportes en vertical, se cubren también con doble capa de film de polietileno fijado con puntillas al propio tabique. Se mantiene en estas condiciones durante una semana, aproximadamente, siempre teniendo en cuenta y controlando las condiciones ambientales de temperatura ($22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) y humedad del Laboratorio ($65 \pm 5\%$ de H.R). Posteriormente, se descubre la zona o piezas de muestras para su correcto proceso de secado y curado durante 28 días hasta que se hace el ensayo.

Una vez que las muestras están secas y curadas, un día antes (24 horas) de la realización del ensayo de resistencia a la adhesión, se adhieren con pegamento de resina epoxi de dos componentes unas sufrideras de aluminio de $\varnothing 50$ mm sobre cada una de las probetas circulares marcadas en las muestras de mortero de arcilla. Fijadas las sufrideras, se procede a realizar el ensayo con un dispositivo denominado tester¹⁸ digital de adhesión modelo KN-10 de la casa NEURTEK (Foto 8.42) que permite la extracción por carga de tracción y obtener el valor de tensión máxima con un valor digital, según el tipo de rotura de la probeta (adhesiva, si la probeta se separa del soporte y cohesiva, si la probeta se parte antes de separarse del soporte)¹⁹



Foto 8.42: Dispositivo eléctrico portátil digital para realizar el ensayo de resistencia a la adhesión

¹⁸ Un tester es un instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas como resistencias. Las medidas pueden realizarse digitalmente, según la tecnología del dispositivo.

¹⁹ En la tabla 7.24 del apartado XX del capítulo de Procedimiento de caracterización se referencia el tipo de rotura en relación con la resistencia a la adhesión según norma UNE-EN 1015-12: 2000.

A continuación, se describen las acciones específicas que se llevan a cabo para cada uno de los tipos de soportes elegidos, con la intención de diferenciar las pruebas que se hacen en posición horizontal de la que se realizan en vertical. Ya que el procedimiento experimental sigue las mismas pautas para todas las superficies y posiciones, se diferencia la preparación de los diferentes soportes, la fabricación y tamaño de las muestras, marcado de probetas circulares y la realización del ensayo:

- Procedimiento sobre soportes HORIZONTALES

Los tipos de bases soportes que se emplean como superficies para muestras de revoco en horizontal son placas de adobes, piedra natural (calcarenita), rasillas de cerámica cocida y baldosas de mortero de cemento (Foto 8.43). Todas las piezas que sirven para la realización del ensayo en el Laboratorio de Construcciones Arquitectónicas se disponen sobre las mesas de ensayos, previamente replanteadas para su ocupación durante el periodo que dura el ensayo, y se organizan las piezas diferenciando las que se revisten con mortero directamente de las que llevan una capa de fijador o lechada de cal previa a la aplicación de la muestra.



Foto 8.43: Replanteo de las zonas de trabajo para la realización de los ensayos de resistencia a la adhesión con muestras de diferentes materiales

Los morteros de las muestras preparados 24 horas antes, deben batirse nuevamente hasta lograr una mezcla homogénea antes de la colocación sobre los soportes. Todas las bases soportes que se revistan con morteros sin fijación, deben humectarse previamente con agua para evitar que al aplicar la muestra de mortero de arcilla absorban la humedad propia del mortero. En el caso de las superficies que llevan fijador, la pulverización del producto también se hace con un día de antelación a la realización del ensayo, para que seque adecuadamente.

- Aplicación de morteros de arcilla sobre adobes sin y con fijador

El formato de los adobes de 260 x 120 x 35 mm de espesor (Foto 8.44), permite hacer 2 probetas de Ø 50 mm por pieza, por lo que se establece que cada seis (6) adobes se realizan muestras para dos tipos de morteros.

En este caso, al tratarse de una base soporte de tierra cruda, las muestras con fijador se harán con una humectación de lechada de cal cuya dosificación se establece en 1:4, corresponde a 250 gramos de cal aérea por litro de agua (López, 2013). La lechada de cal se aplica con antelación para dejar que comience el proceso químico de carbonatación antes de colocar las capas de revoco. Una vez que haya pasado el tiempo establecido, se procede a aplicar el revoco sobre cada adobe para fabricar las muestras correspondientes y seguir el procedimiento descrito de forma general en los apartados anteriores ya que se repiten de idéntica manera para todos los tipos de soportes.



Foto 8.44: Proceso de secado de los adobes para aplicar la lechada de cal previa a la ejecución de la muestra de mortero de arcilla con capa fijadora

En esta secuencia de fotos se muestra como se preparan los adobes, se dejan secar más de dos (2) meses, se aplica la lechada de cal y se procede a la colocación de las capas de revoco sobre cada adobe para marcar las probetas circulares que sirven para la realización del ensayo de adherencia. (Foto 8.45)



Foto 8.45: Probetas circulares de \varnothing 50 mm para diferentes de dosificaciones sobre adobes sin y con lechada de cal como capa fijadora

- Aplicación de morteros de arcilla sobre piedra calcarenita sin y con fijador

Las placas de piedra calcarenita son de 600 mm x 300 mm y 20 mm de espesor. Las piezas que deben llevar el fijador de silicato se pulverizan un día antes sobre todas las placas de piedra y el mismo día del ensayo se repite la operación con un mínimo de 3 horas antes de la aplicación de las muestras de mortero. Se replantean las muestras que serán de 300 mm x 300 mm, disponiendo dos por cada placa de piedra. (Foto 8.46)



Foto 8.46: Proceso de secado de los adobes para aplicar la lechada de cal previa a la ejecución de la muestra de mortero de arcilla

En el área con la muestra de mortero de arcilla se marcan las probetas con los 5 círculos de diámetro 50 mm, utilizando la anilla metálica. Se sigue el mismo procedimiento operatorio, descrito en el apartado de procedimiento, en todas las piezas ya que es igual para todas las muestras de los diferentes soportes. En las Fotos 8.47 y 8.48 se detalla todo el proceso de curado y colocación de sufrideras para luego hacer el ensayo de adherencia.

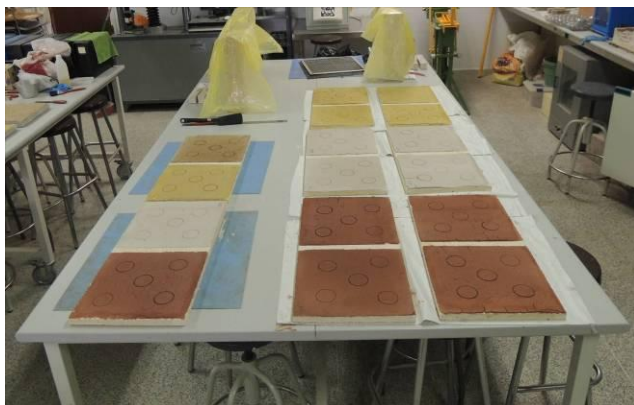


Foto 8.47: Proceso de marcado de las probetas de \varnothing 50 mm, colocación de las sufrideras para la extracción de cada probeta y rotura



Foto 8.48: Proceso de extracción de las sufrideras y resultado de rotura de cada probeta de mortero. Muestras de BF y A2 sin fijador con rotura adhesiva (izquierda) y BF y A2 con fijador rotura cohesivas (derecha)

- Aplicación de morteros de arcilla sobre rasilla cerámica sin y con fijador

Las rasillas que se utilizan como base soporte son productos de cerámica cocida de 1020 mm x 240 mm y 36 mm de espesor. Se disponen cinco (5) muestras de cada color de mortero por rasilla de 240 x 200 mm de superficie. Solo en caso de las muestras de mortero de base fibra (BF), se hacen dos muestras de diferentes espesores para verificar el resultado de la prueba. Todo el proceso de realización del ensayo se muestra desde las fotos 8.49 a 8.53, para las muestras sin y con fijador.



Foto 8.49: Proceso de fabricación de muestras sobre rasillas cerámicas sin fijador y marcado de probetas de Ø 50 mm

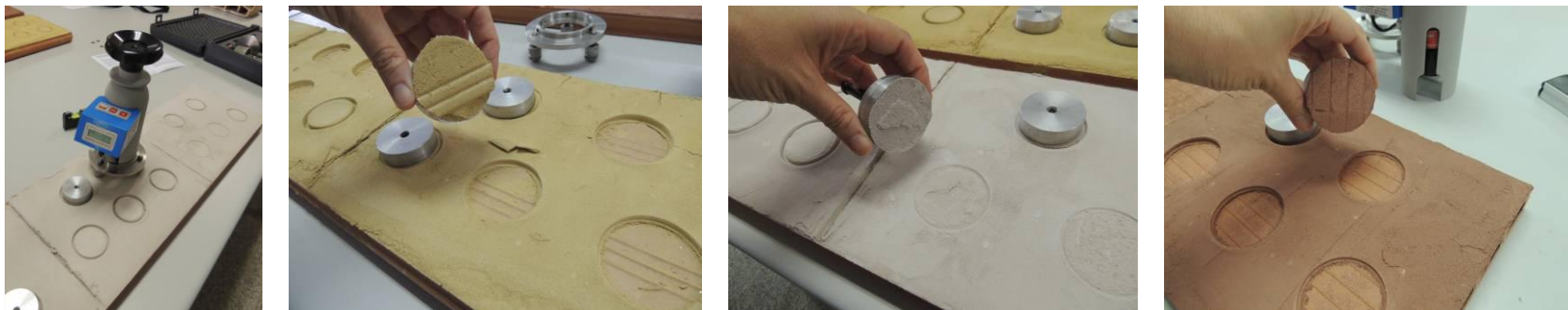


Foto 8.50: Proceso de extracción de probetas de muestras A2, G4 y R1 sobre rasilla cerámica sin fijador a los 28 días



Foto 8.51: Proceso de fabricación de cinco muestras de diferentes dosificaciones sobre cada rasilla cerámica con fijador de silicato



Foto 8.52: Proceso de marcado de probetas de \varnothing 50 mm y curado durante los primeros 7 días cubierto por film de polietileno después de la fabricación de las probetas.
A los 28 días, extracción de probetas sobre rasilla cerámica con fijador de silicato



Foto 8.53: Muestra de diferentes tipos de roturas después de realizado el ensayo de resistencia a la adhesión sobre rasilla cerámica con fijador

- Aplicación de morteros de arcilla sobre baldosas de mortero de cemento sin y con fijador

Las baldosas de mortero de cemento se utilizan por su cara más rugosa que corresponde a la base de la pieza. Cada baldosa mide 300 mm x 300 mm y 25 mm de espesor, lo que permite que se utilice una por tipo de mortero y que se puedan marcar las cinco (5) probetas fácilmente en cada una. Todo el procedimiento operatorio para la realización del ensayo es similar a lo ya descrito y se muestra en las siguientes fotos 8.54 a 8.56 de manera secuencial:



Foto 8.54: Proceso de preparación de soporte de baldosas de mortero de cemento sin y con fijador y aplicación de muestras de morteros de diferentes dosificaciones



Foto 8.55: Marcado de probetas sobre todas las muestras aplicadas sobre las baldosas de mortero de cemento. Conservación, durante los primeros 7 días después de su fabricación, cubiertas con doble capa de film de polietileno.



Foto 8.56: Sufrideras adheridas a cada una de las probetas marcadas, proceso de extracción previa nivelación del dispositivo tester. Resultado de rotura cohesiva en prácticamente todas de las probetas sobre baldosad de mortero de cemento

- Procedimiento sobre soporte VERTICAL

Para la realización de la aplicación de los morteros de arcilla sobre el acabado de pintura al gotelé de una zona de la tabiquería interior del Laboratorio, correspondiente a un área de aproximadamente 2 m de altura por 1,5 m de ancho, la primera tarea, tras limpiar la superficie con un trapo de algodón húmedo, consiste en hacer el replanteo de las muestras a colocar. Se establecen rectángulos de 250 mm de alto por 350 mm de ancho, para poder marcar los 5 círculos de Ø 50 mm que sirven de probetas para la obtención de la resistencia a la adhesión.

Dibujado el replanteo, se rocía con un pulverizador la superficie del tabique con el fijador a base de silicato con tratamiento antimanchas (XT-13 Ecoclay). El producto se deja secar hasta el día siguiente, es decir, durante 24 horas, y se repite la acción de pulverizado de la superficie 3 horas antes de la colocación del revoco. Según indicaciones del propio fabricante se debe dejar secar como mínimo de 3 a 6 horas previas a la aplicación de cualquier revestimiento, por esta razón se adopta el criterio descrito para la realización del ensayo. Transcurrido el tiempo establecido, se comienza a aplicar las muestras de revocos desde arriba hacia abajo y siempre respetando la organización de los colores de morteros de arcilla que se define previamente para poder analizar las muestras y verificar otras varias cuestiones ya que se tienen todas las muestras puestas en vertical directamente sobre el soporte. (Foto 8.57)



Foto 8.57: Proceso de aplicación de muestras en tabique con acabado gotelé: replanteo de superficies de muestras de 250 x 350 mm, proyección de fijador de silicato, aplicación de muestra de revoco en dos capas sucesivas (total < 5mm) y marcado de las probetas circulares de Ø 50 mm para realizar el ensayo pasados los 28 días de curado del mortero.

Después de la aplicación de las muestras, repitiendo proceso operativo realizado en soportes en horizontal, se cubre la zona del tabique donde se interviene con una doble capa de film de polietileno fijado con puntillas al propio tabique. Se mantiene en estas condiciones durante más de una semana y posteriormente se descubre para su correcto proceso de secado y curado durante los siguientes 21 días. (Foto 8.58)



Foto 8.58: Proceso de aplicación de muestras sobre gotelé, protección con dos capas de film de polietileno durante proceso de curado de muestras y vista de muestras secas y listas para realizar el ensayo de resistencia a la adhesión.

Además de hacer este ensayo, se busca la posibilidad de hacer un seguimiento de la respuesta de cada muestra a la retracción por secado, poder constatar variaciones coloración de cada dosificación y estética visual de la aplicación de los morteros en su conjunto. Por este mismo motivo se aprovecha para hacer pruebas de estampado de hojas y círculos en muestras de mortero BF y texturas en relieve. A los 28 días de la aplicación de las muestras, de la misma manera que el resto de soportes se procede a pegar las sufrideras y la extracción de las probetas mediante extracción por tracción con tester.

En este caso, además de colocar las cinco (5) sufrideras de \varnothing 50 mm, se prueba con cinco (5) de \varnothing 20 mm que están destinadas a las pruebas de muy poco espesor para enlucidos o pinturas. Como la capa de mortero de las muestras en vertical es < 2 mm, se hace la comprobación pero se desestima finalmente por falta de adhesión al inicio de la prueba. (Foto 8.59)



Foto 8.59: Pegado de 5 sufrideras de aluminio de \varnothing 20 mm y \varnothing 50 mm en cada muestra para comprobar, si por espesor del revoco (< 2 mm < 5 mm) se ensaya como pintura o revestimiento. Las sufrideras de \varnothing 20 mm, finalmente se descartan, no resultan adecuadas para este ensayo.

El ensayo se realiza con el tester colocado en horizontal para la extracción de las probetas (Foto 8.60).



Foto 8.60: Una vez seco el pegamento y adheridas las sufrideras sobre cada probeta circular, se coloca tornillo de tracción y en horizontal el dispositivo de extracción para obtener el valor de resistencia a la adhesión al soporte del mortero ensayado y el tipo de rotura de la muestra.

En la Foto 8.61 se muestra el aspecto de las muestras sobre el tabique con las sufrideras pegadas y alguno de los resultados obtenidos una vez realizado el ensayo de resistencia a la adhesión.

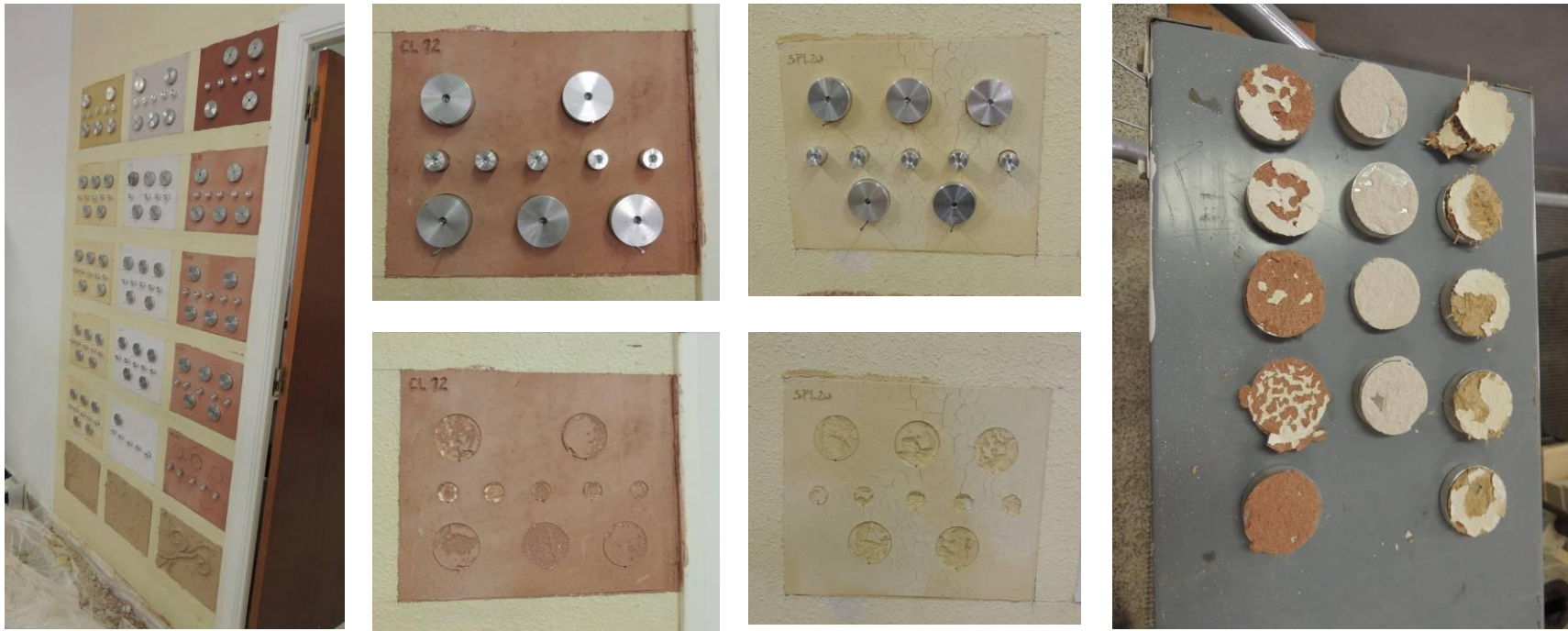


Foto 8.61: Proceso completo del ensayo: colocación de 5 sufrideras Ø50 mm por muestra, extracción de cada sufridera. Resultado del tipo de rotura que se produce en cada probeta de mortero, casos de rotura adhesiva y otros cohesiva.

-Valores medios obtenidos de resistencia a la adhesión sobre soportes en horizontal y en vertical

Los valores medios que se obtienen para cada una de las dosificaciones ensayadas, en la Tabla 8.13, se diferencian para cada uno de los soportes utilizados y se marca, en columnas diferentes, el resultado sin y con aplicación de fijador. El cálculo de los valores medios se obtiene de las 5 probetas que se marcan en cada muestra.

Todas las tablas, con los datos de los valores obtenidos para este ensayo, se adjuntan en el ANEXO de documentación complementaria.

Tabla 8.13

ENSAYO DE RESISTENCIA a la ADHESIÓN - N/mm ² UNE-EN 1015-12 : 2000							
Valores medios obtenidos en diferentes tipos de soportes							
color	recipiente	sin aditivo	con aditivo	CL		HL	SPL
				CL12	CL20	HL20	SPL20
A2	adobe	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	piedra	0,069	0,079	0,050	0,050	0,059	0,055
	material ceramica	0,050	0,066	0,176	0,110	0,146	0,114
	mortero de CEM	0,059	0,171	0,171	0,137	0,199	0,187
	tabique con gotele		0,074	0,066	0,084	0,082	0,116
G4	adobe	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	piedra	0,054	0,050	0,050	0,050	0,050	0,183
	material ceramica	0,050	0,050	0,166	0,252	0,050	0,050
	mortero de CEM	0,105	0,077	0,179	0,175	0,144	0,227
	tabique con gotele		0,050	0,059	0,059	0,075	0,123
R1	adobe	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	piedra	0,050	0,119	0,050	0,050	0,050	0,113
	material ceramica	0,050	0,300	0,137	0,082	0,125	0,050
	mortero de CEM	0,050	0,287	0,400	0,294	0,313	0,353
	tabique con gotele		0,059	0,082	0,129	0,089	0,097
BF	adobe	0,050	0,050				
	piedra	0,053	0,091				
	material ceramica	0,050	0,235				
	mortero de CEM	0,066	0,101				
	tabique con gotele		0,050				

8.3.3.7.- DURABILIDAD: Resistencia a la intemperie

Con esta prueba que se hace con morteros de arcilla destinados inicialmente para su uso en el interior de edificios, se busca evaluar las probetas, fabricadas con todas las dosificaciones diseñadas para la fase experimental, a la intemperie y expuestas a la acción del agua de lluvia, el viento y la radiación directa del sol. De esta forma se pretende verificar su respuesta a las condiciones de exposición donde se ven afectadas por factores agresivos de desgaste y deterioro y cómo pueden influir estas causas en el desgaste de las piezas.

- Procedimiento.

Las probetas que se utilizan para este ensayo son circulares de Ø 160 mm de 15 mm de espesor, se fabrica una probeta por dosificación y se ensayan después del periodo de fabricación y curado de 28 días. Se colocan sobre una estantería metálica que dispone de cuatro baldas de apoyo realizadas con mallas electrosoldadas a modo de bandejas con una inclinación de 60°. Esta estantería se coloca en una terraza, orientada al suroeste, en la sexta planta de un edificio ubicado en la calle Virgen de Luján en el Barrio de los Remedios, de Sevilla. (Foto 8.62)

El procedimiento de la prueba consiste en registrar el efecto de la exposición a la intemperie, variaciones dimensionales, rotura y/o pérdida de masa de cada probeta, por lo que para poder cuantificar la resistencia y las variaciones posibles se establece que la toma de datos de peso y dimensiones de diámetro y espesor de cada probeta, comienza desde su colocación en los estantes hasta pasados doce (12) meses. Siempre en las mismas condiciones se realizan las pruebas a los 2, 7, 14, y 28 días, a partir de los cuales se dispone el periodo de control cada mes. Cada apunte registra también la temperatura y humedad relativa de ese día, para poder tener valores comparables al menos en tres estaciones en el año. Se inicia en meses de verano, para continuar con los de otoño e invierno, primavera y nuevamente verano.

El instrumental que se utiliza es una balanza calibrada, pie de rey manual para registrar los diámetros y pie de rey calibrado digital para los espesores de las probetas. Todos los datos de seguimiento y control en los diferentes periodos de tiempo se registran en las fichas diseñadas especialmente para este ensayo que se adjuntan al documento ANEXO.

El proceso de desgaste se ejemplifica en la siguiente secuencia de fotos (Fotos 8.63) donde se muestra la estantería metálica con las probetas, en el mismo orden de dosificaciones que se tienen todas las tablas de este trabajo, durante el primer mes de exposición y los siguientes periodos establecidos cada tres (3) meses para especificar los resultados obtenidos



Foto 8.62: Vista de las 37 probetas colocadas en la estantería metálica en la terraza expuestas a la intemperie. Estado de probetas recién colocadas y después de transcurridos los primeros 28 días desde el inicio del ensayo.



Foto 8.63: Seguimiento de las probetas resistentes el desgaste y la exposición a la intemperie cada 3 meses, periodos contados desde el inicio del ensayo (noviembre de 2014, febrero y mayo 2015, respectivamente).

En las Fotos 8.64, 8.65 y 8.66 se muestra el proceso de deterioro que sufren las probetas de dosificaciones más vulnerables, que corresponden a las dosificaciones sin aditivos y a las que tienen un 4% o 12% de aditivos de cales. Estas probetas se deterioran a las semanas de iniciada la prueba, con variaciones de peso y antes de los dos (2) meses con pérdida total de la pieza como se refleja, además, en las Tablas 8.14 a 8.16.

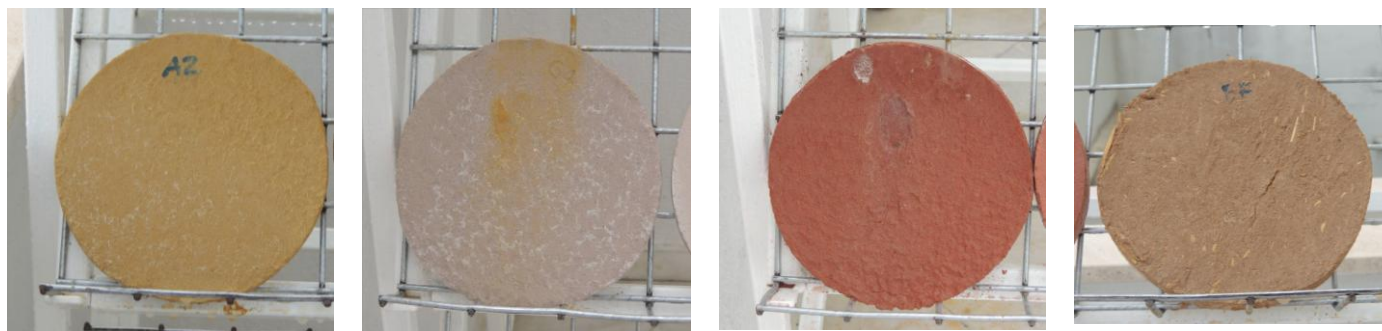


Foto 8.64: Proceso de deterioro de probetas A2, G4, R1 y BF al mes de iniciada la prueba, con pérdida superficial de masa por efecto de las lluvias durante el periodo de control entre 1º mes y 2º mes.



Foto 8.65: En el mismo periodo de tiempo, durante los dos primeros meses, de las probetas A2HL12, A2HL20, G4HL12, G4HL20, R1HL12 y R1HL20 presentan un estado estable al desgaste.



Foto 8.66: Antes de la medición del segundo mes, el proceso de deterioro de las probetas sin aditivos y de dosificaciones bajas con un 4% de aditivos es evidente, incluso con la pérdida total de las piezas. Las probetas que resisten las inclemencias variantes de la climatología (viento y lluvias), en su mayoría, son las de dosificaciones con 20% de aditivos para todas las cales y las que contienen CEM.

A modo de ejemplo, se muestra en las Fotos 8.67, 8.68 y 8.69, la evolución trimestral del estado de deterioro de las probetas A2, G4 y R1 con las dosificaciones de CL12 y CL20, que son de las más estables durante los 12 meses hasta la finalización de la prueba.

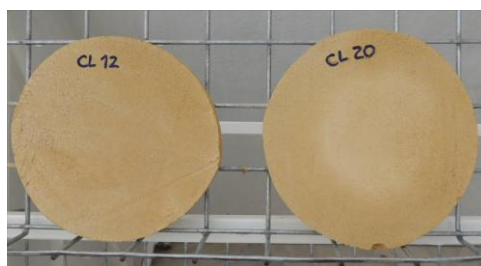


Foto 8.67: Proceso de deterioro de probetas A2CL12 y A2CL20 a los tres, seis y doce meses, respectivamente, desde el inicio de la prueba.



Foto 8.68: Proceso de deterioro de probetas G4CL12 y G4CL20 a los tres, seis y doce meses, respectivamente, desde el inicio de la prueba.

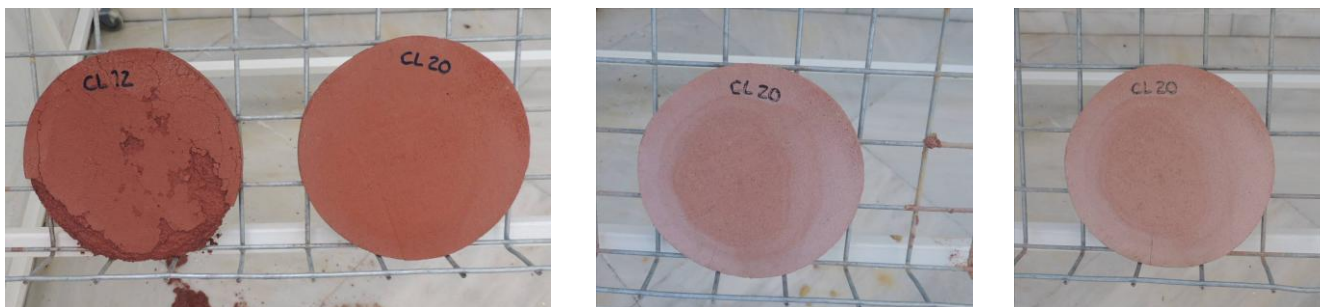


Foto 8.69: Proceso de deterioro de probetas R1CL12 y R1CL20 a los tres, seis y doce meses, respectivamente, desde el inicio de la prueba..

- Valores medios obtenidos de durabilidad

En las Tabla 8.14 y 8.15 se hace un resumen de datos de los valores de variación de los espesores y diámetros de las probetas durante los doce (12) meses que dura la prueba. En la Tabla 8.16, el resumen de datos corresponde a los pesos de todo el proceso de seguimiento y se muestran las variaciones que se producen en cada probeta hasta el final de su durabilidad. Las celdas que no tienen valor reflejan las probetas que se desintegran, disgregan y/o se pierden durante el proceso del ensayo. En el documento ANEXO se adjuntan los valores completos del seguimiento de los 12 meses de todo el proceso.

Tabla 8.14

PERIODO set 2014 ago 2015	ENSAYO de DESGASTE al EXTERIOR - VALORES de VARIACIÓN de DIAMETROS en MESES																							
dosificación	Coordenada de medición Ø a												Coordenada de medición Ø b											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A2	156,2												157,8											
A2CL4	159,0												158,2											
A2CL12	157,0	-0,30	-1,20	-0,90	-0,70	-1,00	-1,40	-0,70	-0,70	-0,40			165,0	-0,50	-0,60	-0,90	-0,50	-0,30	-0,30	0,00	0,00	-0,20		
A2CL20	163,0	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,50	0,00	-0,50	-0,50	0,00	-0,40	-0,30	158,3	-0,30	-0,30	-0,30	-0,10	-0,30	-0,30	-0,20	-0,20	-0,30	-0,30	-0,30
A2HL4	162,6												164,6											
A2HL12	159,0												161,8											
A2HL20	163,0	-1,00	-0,60	-0,70	-0,50	-0,60	-0,40	-0,50	-0,50	-0,30	-1,00	-1,40	160,5	-0,70	-2,00	-0,80	-0,80	-0,80	-1,10	-1,10	-1,10	-0,50	-0,90	-0,70
A2SPL4	157,7												157,6											
A2SPL12	162,8	-1,10	-2,10										159,6	-0,20	-0,80									
A2SPL20	157,8	-0,30	-0,20	-0,30	-0,60	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,10	0,00	-0,10	156,0	-1,00	-0,80	-0,90	-0,70	-0,90	-1,00	-0,60	-0,60	-0,60	-0,90	-1,00
A2CEM	167,0	0,00	0,50	0,60	0,40	1,70	1,60	1,70	1,70	1,20	0,30	0,10	167,0	0,00	0,40	0,80	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,80	1,70
A2CEMCL	165,8	-0,30	0,20	0,30	1,40	0,20	0,20	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	170,0	-1,20	-1,70	-1,50	-1,60	-1,00	-1,20	-1,70	-1,70	-1,00	-1,30	-1,00
G4	159,0												159,8											
G4CL4	164,0												161,8											
G4CL12	165,5	0,20	0,00	0,20	-0,50	-0,50	0,20	-0,50	-0,50	-0,50	0,50	0,70	157,7	-0,30	-0,30	0,00	0,00	-0,10	0,00	-0,40	-0,40	0,50	0,30	0,10
G4CL20	160,0	-0,30	-0,30	0,00	-0,30	-0,40	-1,10	-0,90	-0,90	0,50	-0,60	-0,20	163,3	0,00	0,00	-0,10	0,10	0,10	0,00	0,40	0,40	-0,10	-0,10	-0,60
G4HL4	164,0												165,3											
G4HL12	160,0	1,00	0,00										163,3	-6,70	-8,30									
G4HL20	162,5	-0,50	-0,40	-0,20	-0,10	-0,30	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,30	-0,50	161,3	-1,10	-0,70	-0,40	-0,10	-0,40	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,50	-0,50
G4SPL4	162,0												164,0											
G4SPL12	159,6	-0,90	-0,80										166,7	-1,40	-0,70									
G4SPL20	157,2	-2,20	-1,40	-1,50	-1,60	-1,90	-1,60	-1,84	-1,84	-0,90	-1,80	-1,20	158,0	-0,80	-0,70	-0,70	-1,00	-1,50	-0,80	-0,50	-0,50	-0,70	-1,00	-0,70
G4CEM	166,0	0,00	0,20	0,40	0,60	0,50	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	168,9	-0,70	0,30	1,00	1,10	1,10	1,10	1,90	1,90	1,40	1,20	1,80
G4CEMCL	163,0	-0,30	0,10	0,10	0,00	-0,10	0,00	0,50	0,50	0,90	0,00	0,00	167,0	-0,60	-0,30	-0,10	-0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	-0,20
R1	153,6												154,0											
R1CL4	157,7												155,2											
R1CL12	157,7	0,00	-1,70										157,0	0,00	-1,70									
R1CL20	157,2	0,30	0,50	-0,20	0,10	0,80	0,80	0,20	0,20	-0,40	0,50	0,00	159,9	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	0,10	0,10	0,40	0,10	0,10
R1HL4	158,8												161,0											
R1HL12	163,7												164,0											
R1HL20	158,6	-0,20	0,80										162,3	0,50	-2,30									
R1SPL4	159,8												156,9											
R1SPL12	153,8	3,00											153,6	2,40										
R1SPL20	158,8	-0,80	0,20										155,0	-0,30	0,30									
R1CEM	163,4	0,20	-0,20	2,20	0,60	-0,20	0,60	0,50	0,50	0,60	0,10	0,60	162,0	0,30	0,00	0,20	0,50	0,50	0,70	0,60	0,60	0,50	1,00	1,00
R1CEMCL	166,0	-0,40	-0,30	-2,00									162,4	-0,50	-0,70	-0,20								
BF	159,0												164,0											

Tabla 8.15

PERIODO set 2014 ago 2015	ENSAYO de DESGASTE al EXTERIOR - VALORES de VARIACIÓN de ESPESORES en MESES																							
dosificación	Coordenada de medición espesor a												Coordenada de medición espesor b											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A2	14,8												14,6											
A2CL4	14,5												14,8											
A2CL12	14,9	-0,90	-0,20	-0,20	-0,10	-0,30	-0,30	-0,20	-0,20	-0,10	-0,30	-0,30	15,5	-1,10	-0,60	-0,50	-0,60	-0,70	-0,60	-0,30	-0,30	-0,40	-0,90	-2,60
A2CL20	15,1	-0,70	0,00	-0,40	-0,10	-0,20	-0,30	-0,10	-0,10	-0,10	-0,30	-0,20	15,9	-0,70	0,10	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,10	-0,10	-0,20	-0,30	-0,30
A2HL4	14,0												14,0											
A2HL12	15,0												14,8											
A2HL20	15,0	-0,80	0,10	-0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	-0,20	-0,20	-0,90	15,5	-1,00	0,00	-0,50	-0,40	-0,40	-0,50	-0,10	-0,10	-0,30	-0,50	-0,50
A2SPL4	15,5												14,6											
A2SPL12	14,6	-0,70	0,60										14,4	-0,80	0,60									
A2SPL20	14,6	-0,90	-0,10	-0,20	0,00	-0,10	-0,10	0,10	0,10	0,00	-0,30	-0,20	14,7	-0,60	-0,10	-0,10	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	-0,10	-0,20	0,00
A2CEM	14,7	-0,50	-0,20	0,00	0,10	-0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	-0,10	14,8	-0,90	-0,80	-0,30	-0,30	-0,30	-0,10	-0,10	-0,10	-0,30	-0,30	-0,20
A2CEMCL	14,7	-0,80	-0,20	-0,20	-0,20	-0,10	-0,20	-0,10	-0,10	-0,10	-0,20	-0,40	14,5	-1,00	-0,10	-0,20	-0,30	-0,20	-0,20	-0,30	-0,30	-0,20	-0,60	-0,40
G4	14,2												14,4											
G4CL4	14,1												13,8											
G4CL12	15,3	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,50	-0,40	-0,30	-0,30	-0,30	-0,50	-0,40	14,6	-0,40	-0,10	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,10	-0,40	-0,30
G4CL20	14,9	-0,80	0,00	-0,10	-0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	-0,30	-0,20	14,6	-0,90	-0,10	-0,30	-0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	-0,20	-0,10
G4HL4	15,6												14,6											
G4HL12	14,9	-1,90	-2,10										14,7	-0,50	-0,70									
G4HL20	15,2	-1,00	-0,50	-0,40	-0,20	-0,30	-0,40	-0,60	-0,60	-0,30	-0,50	-0,50	14,9	-0,50	0,20	0,00	0,00	-0,10	-0,10	0,00	0,00	0,00	-0,10	-0,20
G4SPL4	13,3												14,2											
G4SPL12	14,1	-0,50	0,10										13,4	-0,70	-0,10									
G4SPL20	14,3	-0,40	0,00	0,30	0,00	0,10	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30	14,3	-0,50	-0,10	0,10	0,30	0,30	0,50	0,50	0,50	0,20	0,10	-0,20
G4CEM	15,2	-0,60	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,20	0,20	0,10	-0,10	0,00	15,0	-0,60	-0,40	-0,10	0,10	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	-0,20	-0,30
G4CEMCL	15,4	-0,50	-0,20	0,00	0,00	-0,10	-0,10	0,00	0,00	-0,10	-0,30	-0,10	15,4	-0,60	0,00	-0,10	0,10	0,00	-0,10	0,10	0,10	0,00	-0,30	-0,20
R1	13,7												14,2											
R1CL4	14,6												14,4											
R1CL12	14,7	-0,10	-2,10										14,2	-0,50	-1,50									
R1CL20	15,1	-0,80	0,00	0,00	-0,20	0,10	0,10	0,40	0,40	0,10	-0,20	0,00	14,8	-0,80	-0,10	-0,10	-0,20	0,00	-0,10	-0,10	-0,10	-0,20	-0,40	-0,40
R1HL4	14,5												14,6											
R1HL12	14,1												13,9											
R1HL20	15,4	0,20	1,10										15,0	-0,80	-0,90									
R1SPL4	13,1												13,2											
R1SPL12	14,1	-0,60											13,8	-1,40										
R1SPL20	13,0	-0,50	0,10	0,10									13,5	-0,70	0,10	0,50								
R1CEM	15,5	-0,60	0,00	0,00	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,10	15,3	-0,50	0,20	0,00	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20	0,30	-0,10	-0,10
R1CEMCL	15,5	-0,70	-0,10										15,4	-0,90	0,00									
BF	15,6												14,6											

Tabla 8.16

PERIODO set 2014 ago 2015	ENSAYO de DESGASTE al EXTERIOR - VALORES de VARIACIÓN de PESOS en MESES																									
Dosif.	Pesos en gr. de probetas cada mes												Variaciones de peso en el proceso de la prueba													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	inicio	sept	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	
A2	498,0	371,0											498	127,												
A2CL4	442,0	434,0											442	8,0												
A2CL 12	440,0	471,0	470	471	472	471	470	468	459	459	456	457	440	-31,0	-30,0	-31,0	-32,0	-31,0	-30,0	-28,0	-19,0	-19,0	-16,0	-17,0	-14,0	
A2CL20	450,0	485,0	485	488	487	488	489	485	483	483	484	484	450	-35,0	-35,0	-38,0	-37,0	-38,0	-39,0	-35,0	-33,0	-33,0	-34,0	-34,0	-34,0	
A2HL4	450,0												450													
A2HL12	442,0	469,0											442	-27,0												
A2HL20	425,0	452,0	451	452	452	450	441	448	447	447	448	448	425	-27,0	-26,0	-27,0	-27,0	-25,0	-16,0	-23,0	-22,0	-22,0	-23,0	-23,0	-22,0	
A2SPL4	450,0	438,0											450	12,0												
A2SPL12	478,0	503,0	505	501									478	-25,0	-27,0	-23,0										
A2SPL20	430,0	461,0	489	464	470	463	460	462	464	464	462	463	430	-31,0	-59,0	-34,0	-40,0	-33,0	-30,0	-32,0	-34,0	-34,0	-32,0	-33,0	-33,0	
A2CEM	450,0	466,0	464	465	464	465	462	461	456	456	456	457	450	-16,0	-14,0	-15,0	-14,0	-15,0	-12,0	-11,0	-6,0	-6,0	-6,0	-7,0	-7,0	
A2CEMCL	465,0	486,0	487	486	487	488	482	484	482	482	483	483	465	-21,0	-22,0	-21,0	-22,0	-23,0	-17,0	-19,0	-17,0	-17,0	-18,0	-18,0	-18,0	
G4	468,0	268,0											468	200,												
G4CL4	460,0	478,0											460	-18,0												
G4CL12	520,0	549,0	551	552	552	551	548	548	546	546	548	548	520	-29,0	-31,0	-32,0	-32,0	-31,0	-28,0	-28,0	-26,0	-26,0	-28,0	-28,0	-28,0	
G4CL20	425,0	457,0	460	463	462	462	460	461	458	458	459	459	425	-32,0	-35,0	-38,0	-37,0	-37,0	-35,0	-36,0	-33,0	-33,0	-34,0	-34,0	-35,0	
G4HL4	520,0												520													
G4HL12	430,0	446,0	436	417									430	-16,0	-6,0	13,0										
G4HL20	460,0	483,0	483	484	483	483	480	481	478	478	479	480	460	-23,0	-23,0	-24,0	-23,0	-23,0	-20,0	-21,0	-18,0	-18,0	-19,0	-20,0	-20,0	
G4SPL4	430,0	449,0											430	-19,0												
G4SPL12	430,0	459,0	460	458									430	-29,0	-30,0	-28,0										
G4SPL20	420,0	444,0	481	443	504	495	444	445	444	444	446	445	420	-24,0	-61,0	-23,0	-84,0	-75,0	-24,0	-25,0	-24,0	-24,0	-26,0	-25,0	-23,0	
G4CEM	480,0	498,0	497	495	497	497	493	494	491	491	492	493	480	-18,0	-17,0	-15,0	-17,0	-17,0	-13,0	-14,0	-11,0	-11,0	-12,0	-13,0	-9,0	
G4CEMCL	442,0	475,0	474	474	475	476	472	474	470	470	471	471	442	-33,0	-32,0	-32,0	-33,0	-34,0	-30,0	-32,0	-28,0	-28,0	-29,0	-29,0	-26,0	
R1	430,0												430													
R1CL4	420,0	425,0											420	-5,0												
R1CL12	398,0	426,0	425	408									398	-28,0	-27,0	-10,0										
R1CL20	418,0	448,0	448	451	451	451	449	448	445	445	446	446	418	-30,0	-30,0	-33,0	-33,0	-33,0	-31,0	-30,0	-27,0	-27,0	-28,0	-28,0	-28,0	
R1HL4	438,0												438													
R1HL12	400,0												400													
R1HL20	396,0	421,0	421	417									396	-25,0	-25,0	-21,0										
R1SPL4	410,0	355,0											410	55,0												
R1SPL12	382,0	410,0	381										382	-28,0	1,0											
R1SPL20	375,0	395,0	399	399	396								375	-20,0	-24,0	-24,0	-21,0									
R1CEM	458,0	476,0	477	477	476	477	472	472	462	462	461	464	458	-18,0	-19,0	-19,0	-18,0	-19,0	-14,0	-14,0	-4,0	-4,0	-3,0	-6,0	-5,0	
R1CEMCL	422,0	453,0	455	458	457	420	410						422	-31,0	-33,0	-36,0	-35,0	2,0	12,0							
BF	470,0	434,0	224	10									470	36,0	498	460,0										

8.3.3.8.- COLORIMETRÍA

Para este ensayo no hay norma de referencia, se hace la prueba para cuantificar los valores diferenciales que se presentan en las dosificaciones diseñadas y en cada uno de los tres colores básicos de morteros utilizados (A2, G4 y R1). Se pretende evaluar las variaciones de color que se producen en las muestras de mortero de arcilla en estado endurecido al incorporar un aditivo. En el caso de la adición de cales, en qué medida incide el porcentaje de cada una de ellas en el aclarado del producto y si hay diferencia perceptible entre las cales aéreas y la cal hidráulica. En las dosificaciones que contienen cemento, la mezcla oscurece y se percibe desde el amasado, por lo que se necesita conocer en de qué manera afecta al color original y hacer la diferenciación entre la mezcla que contiene solo cemento de la que resulta del mortero bastardo (cemento + cal).

Se fabrican una (1) probeta por cada dosificación, es decir treinta y siete (37) en total, con un diámetro de 60 mm y 10 mm de alto con unas anillas de acero del mismo diámetro interior. El moldeo de las probetas se realiza sobre placas de chapa galvanizada o azulejo vitrificado con desencofrante para evitar que la pieza de mortero se adhiera al mismo y seque adecuadamente (Foto 8.70). Las probetas se desmoldan a los 5 días y se curan en las mismas condiciones que todas las probetas de la fase experimental, descripción realizada en el 8.2.2, de este mismo capítulo.

Una vez que transcurre el proceso de curado de las probetas, pasados los 28 días desde su fabricación, se mide el color de cada una con un colorímetro MINOLTA modelo CR200(Foto 8.71). El colorímetro es un equipo portátil que permite realizar medidas de coordenadas colorimétricas de muestras por contacto. El área máxima de medida es de 8 mm². Este dispositivo facilita los datos tridimensionales de luminosidad en eje (L^*) y los dos ejes de coordenadas a^* y b^* que representan la variación entre los tonos rojizos-verdosos, y amarillentos-azulados, respectivamente.



Foto 8.70: Proceso de moldeado y secado de probetas Ø 60 mm



Foto 8.71: Colorímetro de medición Minolta CR-200

Sin necesidad de medición ninguna con mecanismos electrónicos, a simple vista se aprecia como la gama de colores de los morteros sin aditivos se aclaran con las cales y oscurecen con el gris del cemento. Fotos 8.72

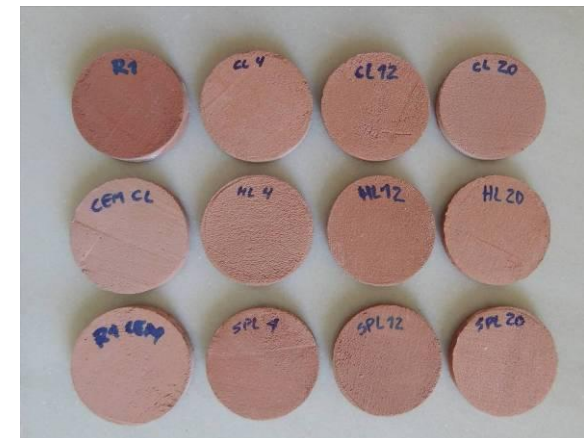
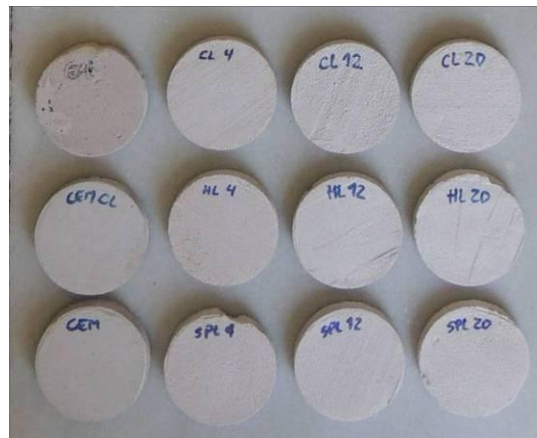
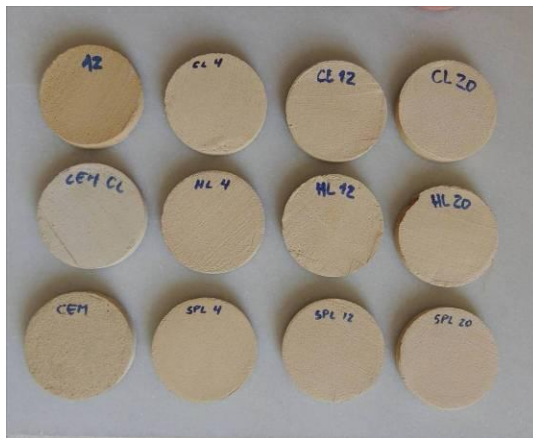


Foto 8.72: Variaciones, perceptibles a simple vista, de los tonos de color en los morteros con aditivos con respecto a los tres morteros básicos sin aditivos (A2, G4 y R1)

- Valores obtenidos de colorimetría

Para cuantificar las escalas de tonalidades que se producen con la variación de color de las diferentes dosificaciones, se ordenan los datos de la medición con el colorímetro. En la Tabla 8.17 se clasifican los valores por tipo de dosificación, sin y con aditivo, para cada uno de los tres colores de morteros de arcilla.

Tabla 8.17

ENSAYO de COLORIMETRÍA										
DOSIFICACIÓN:				SIN ADITIVO						
ESPACIOS DE COLOR		A2		G4		R1		BF		
LUMINOSIDAD	L*	68,81		76,56		49,62		61,13		
ORIENTACIÓN DE COLOR	a*	4,19		2,65		15,78		16,42		
	b*	28,12		7,14		15,08		18,47		
DOSIFICACIÓN:				CAL AÉREA						
ESPACIOS DE COLOR		A2			G4			R1		
		CL4	CL12	CL20	CL4	CL12	CL20	CL4	CL12	CL20
LUMINOSIDAD	L*	78,56	78,49	80,05	83,39	82,59	84,70	59,78	56,74	59,60
ORIENTACIÓN DE COLOR	a*	2,10	2,43	2,15	1,83	1,83	1,79	16,20	16,30	15,36
	b*	23,29	24,48	19,20	5,07	4,83	4,55	16,35	15,90	14,53
DOSIFICACIÓN:				CAL HIDRÁULICA						
ESPACIOS DE COLOR		A2			G4			R1		
		HL4	HL12	HL20	HL4	HL12	HL20	HL4	HL12	HL20
LUMINOSIDAD	L*	77,33	78,14	80,84	81,86	85,39	85,85	56,50	53,94	60,96
ORIENTACIÓN DE COLOR	a*	2,43	2,16	1,73	2,05	1,52	1,45	16,24	17,26	15,76
	b*	25,16	23,08	22,04	6,83	4,53	3,73	16,39	17,46	16,29
DOSIFICACIÓN:				CAL EN PASTA						
ESPACIOS DE COLOR		A2			G4			R1		
		SPL4	SPL12	SPL20	SPL4	SPL12	SPL20	SPL4	SPL12	SPL20
LUMINOSIDAD	L*	76,53	77,16	78,15	82,70	83,28	84,07	54,50	53,93	59,98
ORIENTACIÓN DE COLOR	a*	2,68	2,75	2,57	1,97	2,13	2,11	17,71	16,92	15,08
	b*	25,64	23,24	22,09	4,85	5,01	5,42	17,56	15,56	14,16
DOSIFICACIÓN:				CEMENTO Y CAL AÉREA						
ESPACIOS DE COLOR		A2			G4			R1		
		CEM	CEM CL		CEM	CEM CL		CEM	CEM CL	
LUMINOSIDAD	L*	73,49	78,50		81,72	82,19		61,10	63,27	
ORIENTACIÓN DE COLOR	a*	1,99	1,20		0,71	0,85		14,86	13,45	
	b*	23,91	18,71		4,14	3,59		15,83	13,52	

9 – ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

9.1.- ASPECTOS GENERALES

En este capítulo se hace el análisis general y particular de los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados en la fase de experimentación. Con el objetivo de estructurar los parámetros que se evalúan en cada caso, se considera oportuno mantener el mismo orden establecido para la descripción del procedimiento de formalización de cada uno ellos y, tras los datos expuestos en el capítulo 08 de Experimentación, mantener la organización establecida por ensayo. Antes de proceder al análisis de cada uno en concreto, es necesario dejar señalados algunos aspectos que tienen que ver con ciertas observaciones que surgen de las fases previas de organización y preparación de los morteros utilizados, diseño y elaboración de las muestras y probetas y que se consideran que pueden ser interesantes para el conocimiento, tanto del producto como del proceso que se ha seguido en esta investigación.

- Sobre la propuesta y diseño de los ensayos

En primer lugar, se destaca que los morteros de arcillas preparados, al ser materiales predosificados, que se suministran en bolsas de peso estándar facilitan la compra y transporte del producto. A este aspecto, se suma la facilidad de acopio para su almacenamiento programado, dada la opción de manipulación de cantidades bajas o altas, que permite disponer del volumen necesario directamente en el lugar donde se aplicarán los revestimientos. Además, el producto sin aditivos ofrece las garantías necesarias en cuanto a la dosificación de los componentes mediante la predosificación industrial lo que posibilita contar con un producto homogéneo al que sólo es necesario agregar un porcentaje adecuado de agua y, si también se incorporan aditivos, se puede preparar la masa a pie de obra en porcentajes regulados, según funciones específicas de acuerdo al destino y tipo de revestimiento que se desee aplicar.

Se observa que es posible establecer parámetros de comparación entre las diversas dosificaciones con porcentajes diferentes de aditivos. Con los porcentajes seleccionados (4%, 12%, 20%) se consigue detectar diferencias suficientes que determinen resultados más o menos favorables, según el tipo de arcilla que contenga cada mortero. En base a las conclusiones de los resultados se verificará cuales son las dosificaciones más adecuadas o aconsejables para determinados tipos de arcillas. Se puede adelantar que los morteros no se comportan de manera uniforme con el mismo tipo de cal y ni siquiera con el mismo porcentaje de dosificación cuando se comparan diferentes tipos de aditivos.

Si se siguen las instrucciones dadas por el fabricante, los morteros de arcilla preparados que se emplean para los ensayos deben elaborarse con un porcentaje de agua que corresponde al 24 % del peso total de mortero que se vaya a utilizar. Se comprueba que para todos los morteros sin aditivos ese porcentaje es adecuado y que incluso se podría aumentar entre un 1 o 2% más, siempre que se tengan en cuenta las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire en las que se ejecute el revestimiento. Si el mortero de arcilla se dosifica con aditivos, el porcentaje de contenido de agua se modifica dependiendo del valor de la consistencia resultante para cada tipo de dosificación.

La reacción de los tres tipos de morteros de arcilla empleados en los ensayos (A2, G4 y R1), contengan aditivo o no, ha sido diferente en cuanto al porcentaje de agua de amasado prescrito por el fabricante. Se comprueba que estas cantidades deben definirse con los ensayos de consistencia y estabilidad dimensional que, además, permiten establecer parámetros de corrección aplicables en cada dosificación según el tipo de aditivo.

El tiempo de utilización de la masa de mortero de arcilla en estado fresco, una vez humectada y amasada, se establece como mínimo en las tres horas posteriores a su preparación, según las indicaciones del fabricante. Estas muestras de mortero se conservan bajo condiciones de temperatura constante y se preservan en recipientes adecuados dentro del Laboratorio para evitar la pérdida de humedad. De esta manera, se establece un programa de organización de los ensayos ordenado y con previsión en el tiempo que facilita el acopio de materiales y las fases de ejecución de los revestimientos en los diferentes espacios, lo que facilita la correcta planificación en cualquier actividad de construcción.

En cuanto se combina el mortero con aditivos, hay que analizar si el proceso es recomendable o aceptable ya que el aporte de agua de amasado en la mezcla puede afectar o producir alguna reacción en el aditivo, por ejemplo acelerar el proceso de carbonatación de las cales, y no siempre es conveniente hacerlo con tanto margen de tiempo aunque, en principio, no afecta a la consistencia cuando se utilizan cales aéreas.

Con respecto a la realización de probetas moldeadas, las condiciones de fabricación obligan a prolongar los tiempos de curado cuando los morteros de arcilla no tienen aditivos ya que no pueden manipularse las piezas antes de los 5 días de su moldeado. Este aspecto debe tenerse en cuenta para ajustar las prescripciones específicas a estos productos.

- Sobre la planificación de las pruebas y ensayos

La planificación de los diferentes ensayos realizados y la previsión de número de muestras y probetas, permite un análisis final que debe considerarse de diferente manera según el procedimiento que se lleva a cabo en cada prueba en particular. Se mencionan pues, en el análisis del ensayo correspondiente, las observaciones destacables para contemplar criterios de modificación en las prescripciones existentes, dentro de las normas UNE de referencia, con relación a la metodología empleada y los valores obtenidos sobre todo en lo que se refiere a número de probetas y procedimiento de ejecución de cada ensayo. Este aspecto debe ser útil para plantear una revisión de contenido de las prescripciones basadas en características y propiedades de los morteros de cal y cemento para poder integrar a los morteros de arcilla como un producto más dentro de la amplia gama de morteros de revestimiento.

En la programación del proceso experimental, las necesidades de aislamiento, acopio de material, probetas y aplicación de muestras, necesita un sitio acondicionado para tal fin y un Laboratorio de Construcción resulta un lugar adecuado. El tiempo de curado obliga a prever un espacio organizado para no dificultar el almacenamiento de las probetas.

Los medios auxiliares empleados han sido suficientes y demuestran que la elección de este tipo de productos para revestimientos no conlleva demasiada dificultad en la preparación y puesta en obra, aunque sí habilidad en la ejecución de la aplicación sobre el soporte. De esta forma, tanto en la obra como en un Laboratorio de Construcción y con los recursos básicos disponibles, se puede prever la realización de muestras para pruebas y ensayos sin mayor complejidad en su preparación.

9.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS. PRUEBAS Y ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN

En los apartados siguientes se analizan los resultados obtenidos en los ensayos de Laboratorio. Entre los principales objetivos del planteamiento de este trabajo de investigación se establece la caracterización de los morteros de arcilla predosificados y la evaluación del efecto de diversos aditivos en su composición. Con el fin de mejorar los criterios de utilización y aplicación de estos morteros, se destacan las variables que permiten estudiar y considerar efectos en el producto e interrelacionar los resultados entre los diferentes ensayos realizados.

9.2.1.-PRUEBAS DE CAMPO

Tanto la prueba de la bola como la de retracción y resistencia seca demuestran que el porcentaje de agua definido por el fabricante sólo es válido para los morteros sin aditivos y, aún así, la reacción no es igual para los tres tipos de morteros de arcilla seleccionados, ya que la respuesta en el proceso de amasado de cada uno es diferente y presentan distinto grado de plasticidad. Estas pruebas han significado el paso previo para establecer que el grado de humedad debe variar cuando se trata de morteros con aditivos pues la masa absorbe gran parte del contenido de agua y en cada dosificación se modifica ese porcentaje.

Con estas pruebas organolépticas se constata que para la correcta dosificación de las muestras, en una primera fase, el mortero con arcillas amarillentas (A2), con mayor contenido de cuarzo, se trabaja con gran plasticidad, de forma fácil y maleable. Los morteros grises (G4), con más caolinita en su composición, al humectarse adquieren la plasticidad más elevada. En este caso, incluso al dejar la mezcla reposar un mínimo de 3 horas, el producto exuda agua y es necesario una amasada extra. Por el contrario, los morteros rojizos (R1), con mayor porcentaje de illita, necesitan mayor aporte de humedad, para una plasticidad que se podría considerar de valor medio y que no puede cuantificarse con pruebas in situ.

El análisis final permite afirmar que estas pruebas de campo pueden ser útiles para morteros de arcilla que se preparan in situ, cuando se preparan y estudian varias dosificaciones con la necesidad de verificar cual sería la más adecuada, en relación a los componentes empleados o el tipo de soporte. Pero para los morteros predosificados no resultan relevantes ya que, en todo su proceso de fabricación, pasan por diversos controles de calidad tanto de componentes como de dosificación, con la garantía de ser un producto óptimo para cumplir la función o uso que se le destina bajo el etiquetado que hace el fabricante. En definitiva, el resultado que se obtiene tras la realización de estas pruebas es el previsto y, en el caso de precisar algún ajuste, no es posible cuantificar la magnitud de las modificaciones.

9.2.2.- ENSAYOS EN ESTADO FRESCO

En los ensayos del mortero en estado fresco se busca que la relación entre el grado de consistencia y la densidad aparente de la masa proporcione una correcta trabajabilidad en obra. En esta investigación, como la dosificación de los aditivos está preestablecida, es el porcentaje de agua el que define los ajustes. En las pruebas de consistencia y densidad aparente se determinan estos valores y pueden establecerse las

prescripciones específicas para estos productos. Los datos obtenidos deben tenerse en cuenta en el resto de los ensayos en estado endurecido, para establecer los vínculos entre la elaboración, aplicación y durabilidad de los revocos.

9.2.2.1.- CONSISTENCIA

En el ensayo de consistencia los valores medios de escurrimiento obtenidos en todas las dosificaciones, tienen como resultado un rango de valores entre 100 y 140 mm, inferiores a los que establece la norma de referencia UNE-EN 1015-2:1999, que especifica que para morteros de revoco, de cemento o de cal, los valores de escurrimiento para una masa plástica deben ser de $175 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$. Con el porcentaje de agua preestablecido por el fabricante (24%) para los morteros sin aditivos y los ajustes que se realizan durante la fase de experimentación para los morteros con aditivos, la consistencia sería más seca ($< 140 \text{ mm}$) que plástica (entre 140 a 200 mm) según el rango establecido por la norma. Sin embargo, la trabajabilidad de las mezclas resulta óptima en todos los casos y, si se aporta mayor porcentaje de agua para conseguir el valor de escurrimiento según norma UNE, el mortero de arcilla se transforma en una masa casi líquida, inapropiada para aplicarse como revoco. Por lo tanto, mediante los resultados de este ensayo se establece el rango adecuado de escurrimiento para los revocos de arcilla predosificados.

Los valores expresados en la figura 9.1 muestran, en primera instancia un dato casi intuitivo: que la plasticidad aumenta con el escurrimiento. Sin embargo, un estudio más detallado para detectar la influencia de los diferentes porcentajes de agua en el valor de escurrimiento, permite deducir que los morteros con las dosificaciones más elevadas de CL y HL, en 12% y 20%, precisan mayor contenido de agua sin que este valor aumente.

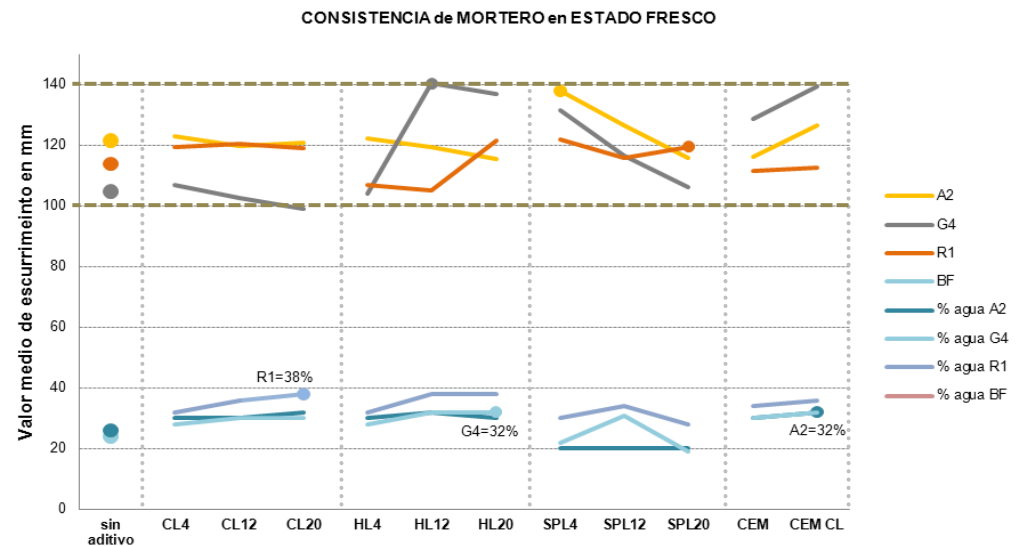


Figura 9.1: Relación de valores medios de escurrimiento. Se señalan los datos máximos de la dosificación y los porcentajes máximos de agua de amasado en cada tipo de mortero.

El aporte de más cantidad de agua, no está relacionado directamente con el aumento del valor de escurrimiento, más bien depende del tipo de aditivo en la dosificación. Para las dosificaciones SPL se reduce el porcentaje de agua de preparación de la masa, porque el mismo producto ya contiene humedad.

El porcentaje de agua asciende gradualmente en las dosificaciones que contienen CL y HL conforme aumenta la proporción de cal. Esto ocurre en los tres tipos de morteros: para A2 y G4 con porcentajes que aumentan casi un 10% más el valor preestablecido por el fabricante (24%) y para R1 los valores crecen un 15% con respecto a los de los morteros sin aditivo. En cambio en A2 no se producen variaciones en las dosificaciones con aditivos de SPL, y para la misma cal G4 y R1 responden en sentido inverso a su escurrimiento, a mayor escurrimiento menos porcentaje de agua. En las dosificaciones con CEM o CEM+CL, sucede lo mismo, el contenido de agua tiene relación directa con el valor de consistencia y para los tres morteros, a mayor consistencia, es decir menor escurrimiento, mayor necesidad de porcentaje de agua.

Al considerar la influencia de los diferentes tipos de arcillas que contienen los morteros, como dato destacable se detecta que:

- Los morteros con arcillas A2 y G4 son más plásticos que los R1, en la mayoría de las dosificaciones.
- El escurrimiento se modifica en todos los morteros cuando se adiciona cal. En este aspecto se deben destacar ciertas particularidades:
 - G4 es la dosificación menos plástica con cal aérea, disminuye el valor de escurrimiento cuanto mayor es el contenido de CL y SPL, aunque aumente la cantidad de agua en la amasada.
 - A2, con CL y SPL, es la más plástica en el valor menor de dosificación (4%), y el porcentaje de agua está directamente relacionado con el contenido de cal.
- R1 necesita mayor aporte de agua para una trabajabilidad adecuada en la dosificación media de porcentaje de cal (12%), en todos los casos.

A continuación, se detallan los aspectos más destacables en los morteros por tipo de arcilla y los resultados obtenidos según el tipo de aditivo de la dosificación, para lo cual se han elaborado las Figuras 9.2 a 9.4.

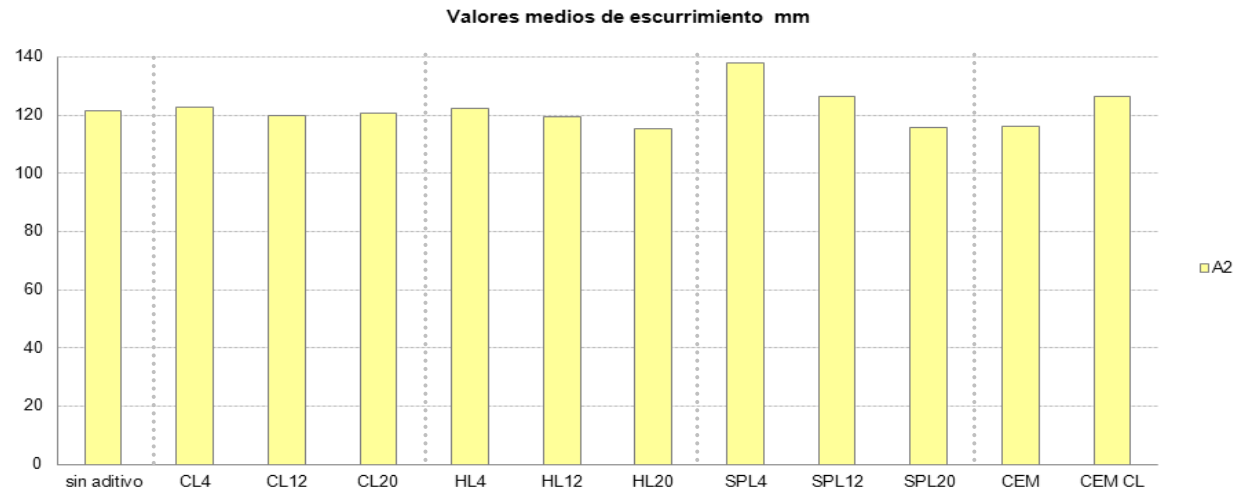


Figura 9.2: Valores medios de escurrimiento para todas las dosificaciones de morteros A2

En esta Figura 9.2 se observa que, para los morteros A2, la dosificación que presenta el mayor escurrimiento es la que contiene SPL, pero con el porcentaje menor de aditivo (SPL4), y la más seca es la dosificación con HL con mayor porcentaje de aditivo (HL20).

En la dosificación que contiene CL los valores de escurrimiento varían poco con respecto al mortero sin aditivo, obteniéndose un ligero aumento en CL4. Lo mismo sucede con HL, aunque el escurrimiento desciende moderadamente en HL20. Sin embargo, con la adición de SPL el valor de escurrimiento aumenta considerablemente con la mínima proporción de esta cal y desciende conforme aumenta la proporción de cal. En el caso de añadir CEM no modifica los valores y sólo con CEMCL se detecta un ligero aumento de escurrimiento.

En definitiva, los valores de escurrimientos son muy uniformes para todas las dosificaciones, es resaltable el efecto de la cal en pasta en la dosificación mínima investigada. Las dosificaciones con CEM no modifican de manera significativa los valores con respecto al mortero sin aditivo.

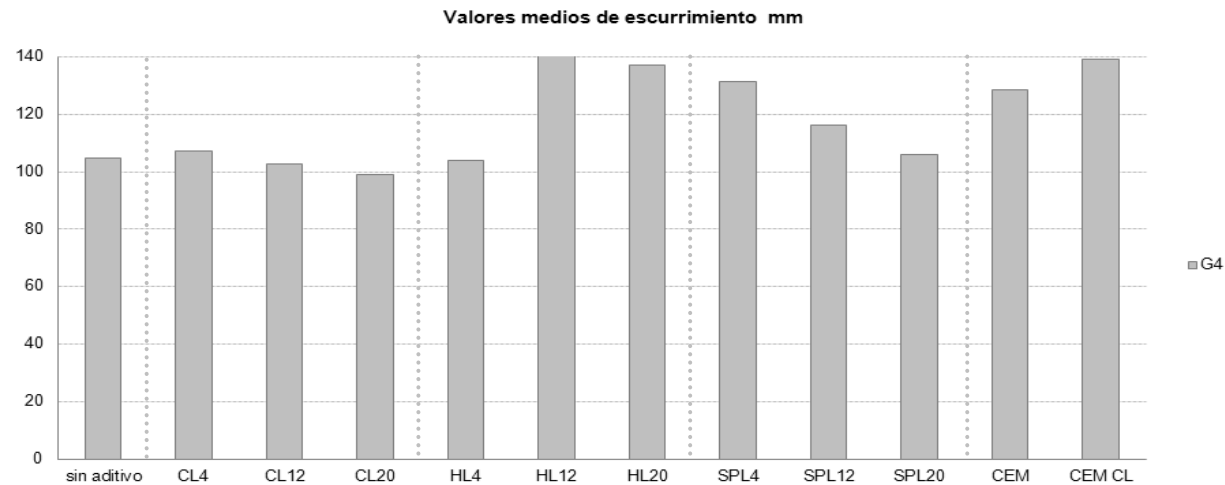


Figura 9.3: Valores medios de escurrimiento para todas las dosificaciones de morteros G4

En el caso de los morteros G4, como se observa en la Figura 9.3, el escurrimiento aumenta con los aditivos hidráulicos obteniéndose los valores más altos con la dosificación HL12 y CEMCL. Sin embargo, la adición de cales aéreas disminuye el escurrimiento detectándose claramente que la reducción es proporcional en CL y más acusada en SPL. Se consigue un escurrimiento mayor con la dosificación CEMCL similar a HL12, aunque desciende ligeramente con CEM.

En los morteros con arcillas grises los aditivos hidráulicos influyen de manera importante en la consistencia final de la masa, y los resultados de los menores escurrimientos se miden con las mezclas con las cales aéreas.

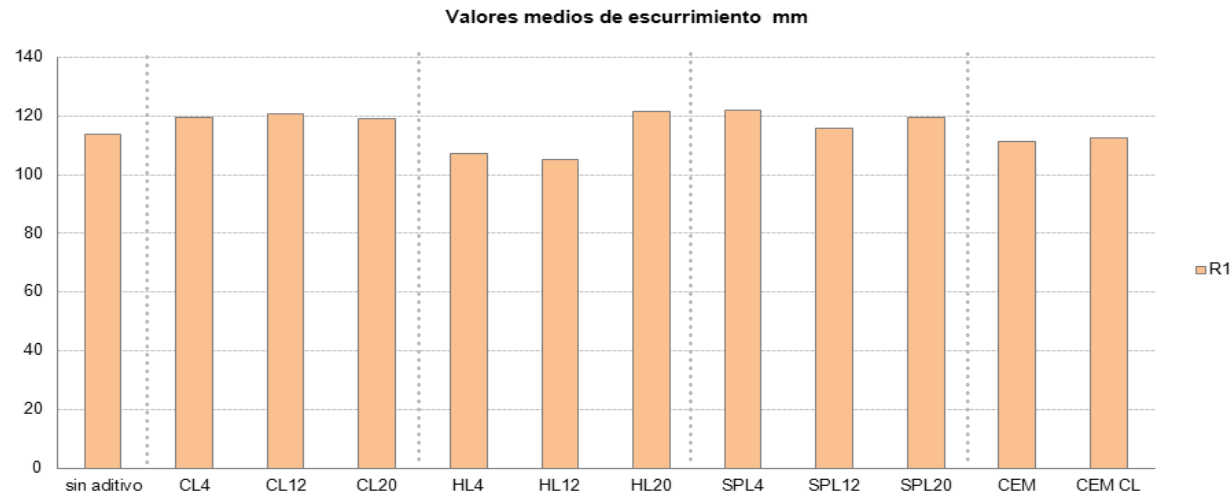


Figura 9.4: Valores medios de escurrimiento para todas las dosificaciones de morteros R1

Los morteros R1, figura 9.4 son los que presentan las consistencias más secas. Sin que se detecten muchas diferencias en los rangos de valores obtenidos, sí se observa una tendencia en cuanto a que los aditivos hidráulicos ocasionan una leve disminución del escurrimiento. Para este tipo de morteros el intervalo de los valores de escurrimiento es más ajustado que para el resto. Varias dosificaciones presentan los valores máximos de escurrimiento sin que pueda establecerse una pauta con respecto al tipo de aditivo utilizado.

La respuesta de este tipo de morteros es homogénea, si hubiera que destacar algo, es el hecho de que los valores de escurrimiento, con los aditivos hidráulicos, son similares a los del mortero sin aditivo.

La realización de este ensayo ha permitido definir y matizar los valores de escurrimiento para los morteros de arcilla predosificados y detectar que, en función del tipo de arcilla que se utilice, el efecto de los aditivos es diferente. Esto último es muy importante pues indica que se debe de concretar perfectamente el tipo de arcilla que se va a emplear y esta definición deberá ser prescriptiva al menos en lo que se refiere a una mineralogía básica como se ha investigado.

9.2.2.2.- DENSIDAD APARENTE

Los valores de densidad aparente se encuentran mayoritariamente en el intervalo de 1300 a 2000 kg/m³ establecido por Craterre (Moevus, 2012)¹¹. El cálculo del valor medio en ningún caso presenta desviaciones en las amasadas (Ver fichas de seguimiento en documentación ANEXO). Estos datos se deberían vincular con los valores del mortero en estado endurecido, dadas las características del mortero de arcilla preparado que desde fábrica tiene un exhaustivo control de la granulometría y dosificación de todos los componentes.

En la Figura 9.5, se muestran los valores obtenidos por dosificación y tipo de arcilla:

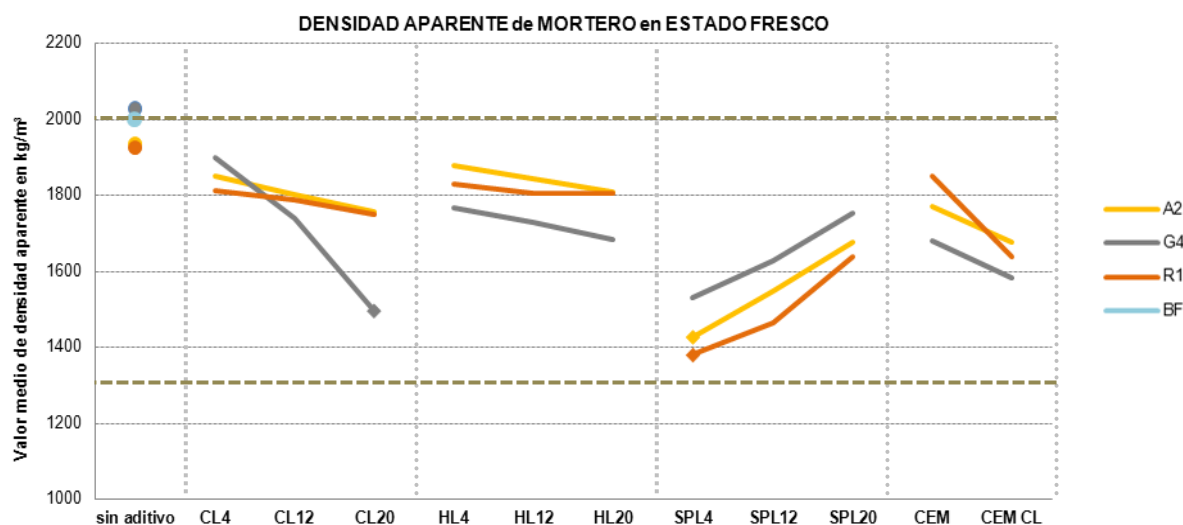


Figura 9.5: Valores medios de densidad aparente de todas las dosificaciones. Se indican los valores máximos y mínimos en los tres tipos de morteros.

¹¹ En el apartado 7.4.2.1 del capítulo de Procedimientos de caracterización se relacionan los valores de consistencia que establece la norma UNE-EN 1015-3:2000/A2:2007 con las densidades aparentes del mortero en estado fresco mayores a 1200 kg/m³ y, lo especificado por AFAM (AFAM, 2012), para densidades de morteros ligeros que contempla valores menores o iguales a 1300 kg/m³.

Como puede observarse los morteros de arcilla sin aditivos son los que proporcionan los de mayor es valores de densidad aparente; el mayor valor corresponde a G4, si bien todos los valores obtenidos se encuentran en los rangos de referencia según UNE y en el intervalo marcado por Craterre.

Aunque en ningún caso las adiciones proporcionan valores más altos con respecto a los morteros sin aditivo, se puede analizar el efecto que tienen en cada caso:

- Al adicionar CL se observa que las dosificaciones más densas son A2 y G4, pero a partir de la dosificación CL4, el mortero G4 es el menos denso. Aunque todos los morteros pierden densidad cuanto mayor es el porcentaje de CL, en G4 la disminución es muy acusada.
- Cuando se adiciona HL, A2 es el mortero de mayor densidad aparente y G4 el de menor valor. En todos los casos, disminuye el valor conforme aumenta la dosificación de cal.
- En el caso de SPL se invierte la tendencia anterior y las densidades aumentan conforme lo hace el porcentaje de cal. En todas las dosificaciones los valores más altos corresponden a G4 y los más bajos a R1.
- Con el aditivo CEM sólo se obtiene un aumento neto de la densidad aparente en el caso de R1; la adición de cal (CEMCL) provoca una disminución de los valores

La evolución con respecto a los diferentes aditivos y porcentajes añadidos, se describe con los aspectos más destacables en los tres tipos de arcilla, figuras 9.6 a 9.9:

En la figura 9.6, puede observarse que, con CL, aunque todos los morteros disminuyen la densidad aparente según aumenta el porcentaje de cal aérea en polvo, solo el mortero G4, presenta un valor muy diferenciado del resto. Esta diferencia es muy acusada en la dosificación con mayor porcentaje de aditivo.

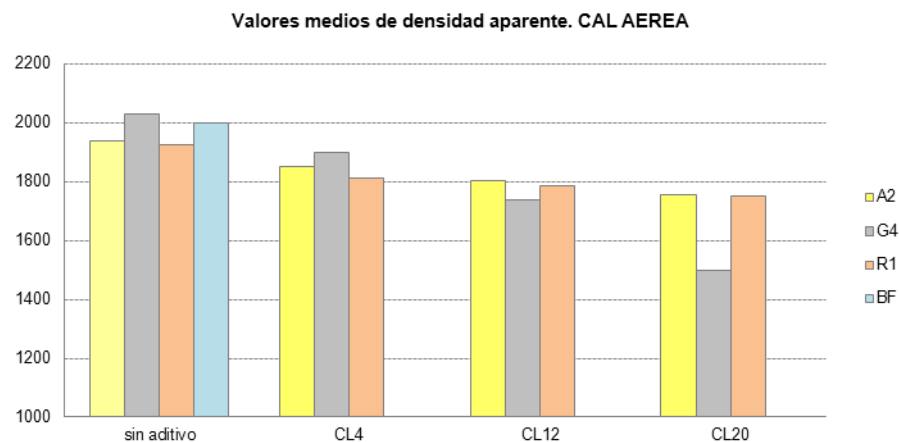


Figura 9.6: Valores medios de densidad aparente. Dosificaciones CL.

Con respecto a la adición de HL, como puede observarse en la figura 9.7, la densidad aparente también disminuye al aumentar el porcentaje de cal. En este caso, de nuevo, G4 es la que ve modificado el valor de forma más relevante.

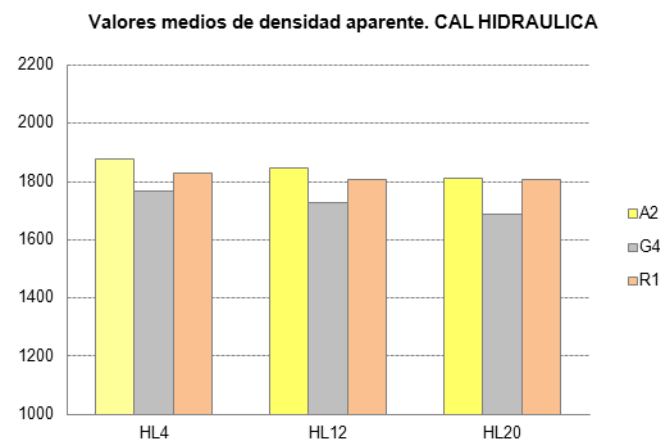


Figura 9.7: Valores medios de densidad aparente. Dosificaciones HL.

En el caso de las dosificaciones con SPL, figura 9.8, se detecta el efecto contrario a los casos anteriores. En los tres morteros la densidad aumenta conforme se adiciona cal en pasta. Resulta significativo que G4 vuelva a mostrar una tendencia singular ya que, en la dosificación de mayor porcentaje es la que tiene mayor densidad aparente al contrario de lo que ocurre con las otras cales.

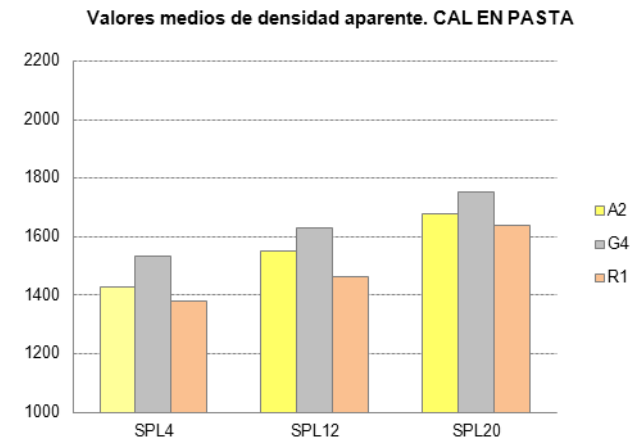


Figura 9.8: Valores medios de densidad aparente. Dosificaciones SPL.

En la figura 9.9, se muestran los valores obtenidos al adicionar CEM y CEMCL. Como puede observarse la adición de cal junto con CEM provoca el descenso de la densidad aparente. El mortero que más acusa este efecto es R1.

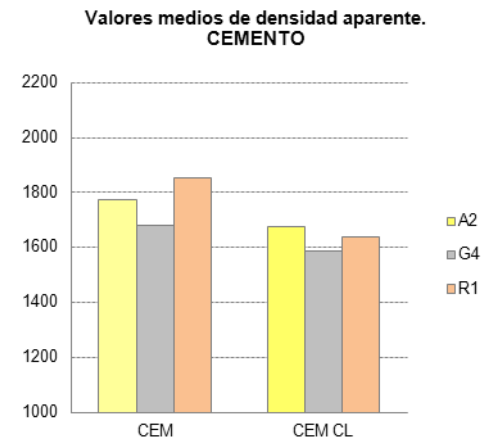


Figura 9.9: Valores medios de densidad aparente. Dosificaciones CEM y CEMCL

Para evaluar el efecto de los aditivos y ver cómo afectan a la densidad aparente se puede indicar que en ningún caso las adiciones aumentan la densidad aparente con respecto a los morteros sin aditivo y, que los aditivos, que disminuyen en mayor proporción este valor son CL en su dosificación más alta (CL20) para los morteros G4 y R1 y SPL en su dosificación menor para A2 (SPL4).

9.2.3.- ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO

- COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA

9.2.3.1.- ESTABILIDAD DIMENSIONAL

En el caso del ensayo de la estabilidad dimensional no es de aplicación directa la norma de referencia UNE 83831-2010-EX, ya que no es posible contar con probetas estables en los periodos de tiempo que impone esta prescripción. No es viable lograr un endurecimiento óptimo a los dos o siete días para poder realizar mediciones periódicas en la fase de curado de las piezas con el método de barra de calibrado en posición vertical. Las probetas a los siete días se pueden desmoldar casi por completo en todas las dosificaciones, pero si se pusieran en esa posición vertical, se deformarían por pandeo. Por lo tanto, la medida solo puede efectuarse con pie de rey. Se propone adecuar la metodología del ensayo para estos productos de forma que se proceda a establecer una sistemática acorde a las características del estado de endurecimiento de las probetas en el momento del desmolde de las diferentes amasadas.

Se debe tener en cuenta que el desmolde se puede clasificar, según el tipo de amasada, en desmolde parcial o total de la probeta. Estas condiciones permiten establecer periodos de tiempo de curado y desmolde diferentes a los detallados en la tabla 7.5 del apartado 7.3.2, de capítulo Procedimientos de Caracterización, para morteros de cemento y/o cales. Las probetas dosificadas con 20% de cales no presentan problemas a los dos días de moldeadas, para quitar las paredes de los moldes y comenzar el ciclo de curado. En cambio las probetas de mortero de arcilla sin aditivos no resultan estables a los 2 días, en ninguno de los tres morteros (A2, G4 y R1), no pueden desmoldarse totalmente y deben permanecer en el molde cinco días más. Todas ellas se han medido después de desmoldar.

Igualmente, los resultados de este ensayo son coherentes con las muestras de mortero aplicadas sobre diferentes soportes destinados a las pruebas de adherencia. Es importante comparar el grado de fisuración que presentan en los primeros días de secado los morteros de arcilla como revestimiento de las superficies ya que, en principio, parecen repetir el mismo efecto y tener su correspondencia con la resistencia a la adhesión. (Ver apartado 9.2.3.6 del ensayo de resistencia a la adhesión)

La estabilidad dimensional de las probetas prismáticas de las diferentes dosificaciones se analiza evaluando el porcentaje de retracción longitudinal que presentan a los 28 días de curado con respecto a la dimensión inicial de 160 mm. En principio las condiciones mínimas resultantes superan lo establecido por norma UNE, donde el valor que se obtiene no debe sobrepasar los 0.5 mm/m, pero hay que tener en cuenta que esta norma se refiere a morteros hidráulicos y de cales. Para los morteros de arcilla, este ensayo permite dar un rango de valores según la evolución de los resultados obtenidos, para ello se tiene en cuenta la relación entre la dimensión inicial y el porcentaje de variación final de la probeta ensayada.

En la siguiente figura 9.10, se representan estos valores para todas las dosificaciones y tipos de mortero investigados; las líneas horizontales marcan los valores de referencia²²

Como puede observarse en esta figura, G4 es el que presenta menos retracción en todas las dosificaciones y tipos de morteros investigados. El R1 es el que más retrae en casi todas las dosificaciones, aunque deben señalarse los valores del A2 en las dosificaciones más altas de CL y HL y en la dosificación SPL12.

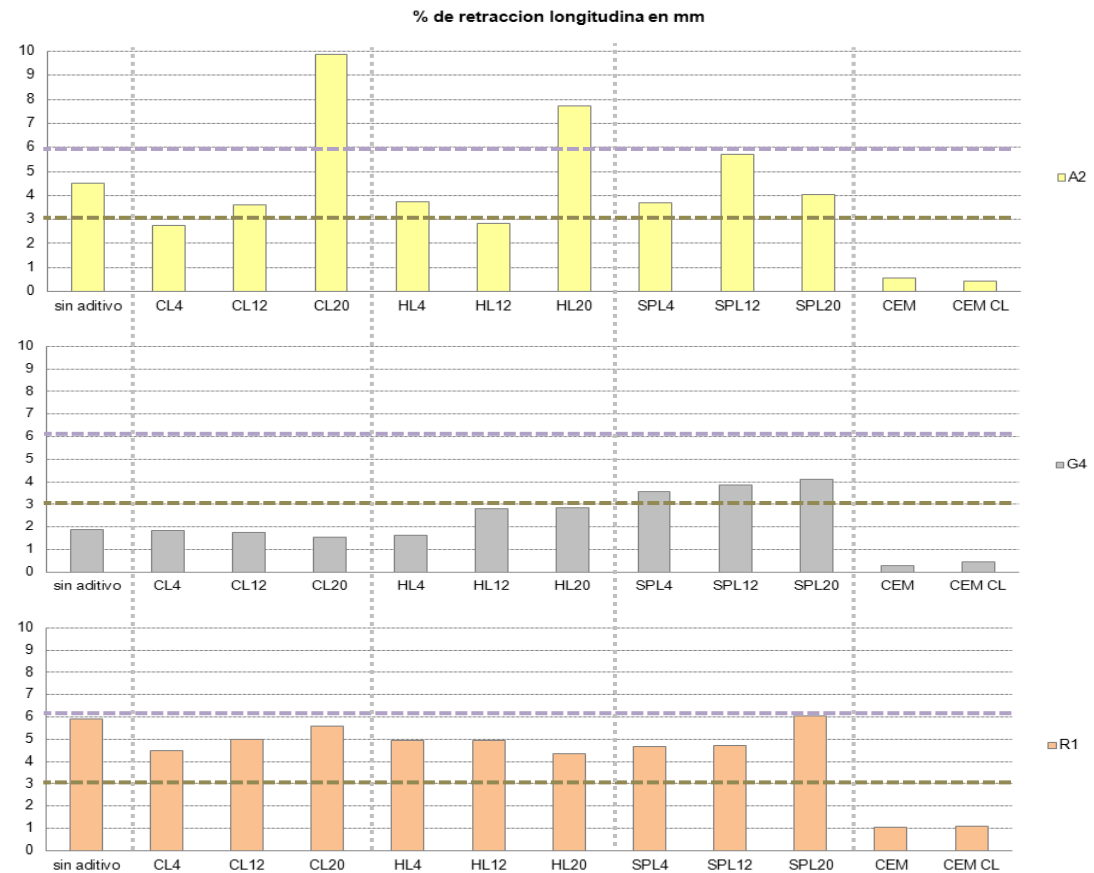


Figura 9.10: Valores medios de contracción de los morteros. Todas las dosificaciones

²² El porcentaje de retracción para diferentes tipos de suelo oscila entre el 3 al 6 % (Houben, 2008). El fabricante proporciona un dato único del 6%,

También, con carácter general, hay que destacar que algunos aditivos provocan que el mortero retraiga en mayor proporción. Estos datos son muy interesantes pues indican los riesgos de superar según que proporciones y, sobre todo, la necesidad de especificar el tipo de aditivo a emplear. En este sentido, es destacable el hecho de que R1 no muestra valores de retracción superior al obtenido sin aditivo por lo que, a priori, parece ser el que mejor compartimiento tendría en el caso de una prescriptiva más laxa. Sin embargo, tanto para A2 como para G4, la definición del tipo y proporción del aditivo debe ser mucho más precisa.; una primera lectura de esta figura permite detectar, además, la influencia de cada aditivo:

- La adición de CL disminuye la retracción aunque, conforme aumenta el porcentaje añadido del aditivo, la retracción también aumenta. Solo en A2 este aumento es muy significativo.
- La misma tendencia se detecta al adicionar HL aunque en esta circunstancia cada tipo de arcilla muestra un compartimiento diferente, como se explica en la Figura 9.10.
- Al adicionar SPL la retracción aumenta en función de la cal que se dosifica. En R1 y G4 el aumento es gradual mientras que, de nuevo, en A2 ocurre una retracción más importante en la dosificación media (12%)
- Cuando se adiciona CEM y CEM CL se obtienen los mínimos valores de retracción, diez veces menor respecto a la retracción mayor de A2CL20. Este efecto es comprensible dadas las características de estabilidad que tiene el cemento que, en el proceso gradual de fraguado de las probetas en condiciones óptimas de ensayo, no varían y parecen compatibilizar con las diferentes arcillas. La mezcla CEMCL, como aditivos combinados, disminuye la retracción lineal de la masa con respecto a las dosificaciones con cales pero los valores son ligeramente más altos que con CEM.

A continuación, se describen los aspectos más destacables en los morteros por tipo de arcilla, según el tipo de aditivo de la dosificación; para este análisis se han representado los porcentajes de retracción de los cuatro morteros investigados en cada caso, en las figuras 9.11 a 9.14:

En la figura 9.11, se muestran los valores obtenidos con CL. Como puede observarse, solo con G4 la retracción disminuye al ir incorporando cantidades crecientes de cal. R1 y A2 retraen en mayor proporción cuando los porcentajes de cal aumentan y es muy relevante la retracción tan importante de A2 con el 20%.

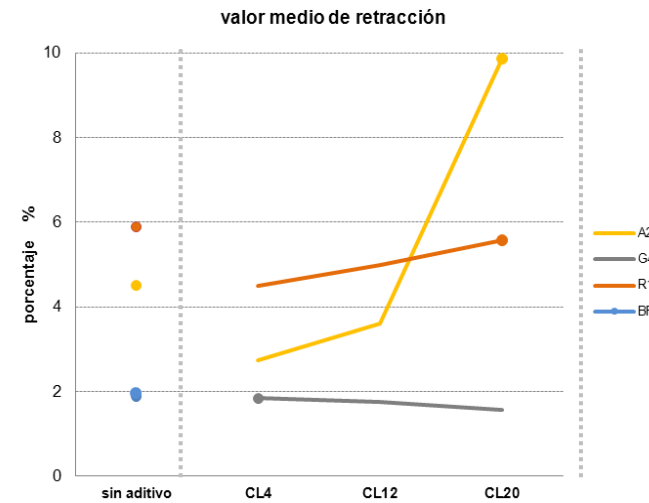


Figura 9.11: Valores medios de retracción longitudinal para dosificaciones con CL.

En el caso que el aditivo sea HL, figura 9.12, cada tipo de arcilla reacciona de manera distinta y no es posible determinar una tendencia. Así, G4 muestra mayores retracciones al aumentar el porcentaje de aditivo en secuencia creciente; R1 se comporta de manera inversa y A2 presenta el mínimo valor de retracción en la dosificación intermedia de esta cal.

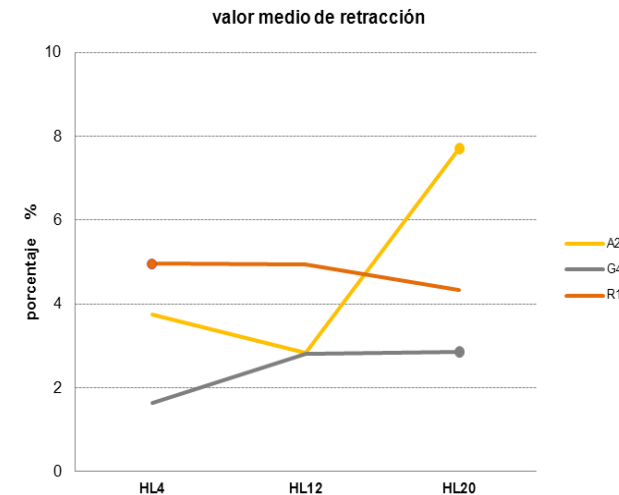


Figura 9.12: Valores medios de retracción longitudinal para dosificaciones con HL.

Al representar los valores correspondientes a la adición de SPL (figura 9.13) se observa que, de nuevo A2 no se ven afectados de la misma forma que G4 y R1. En esto últimos se detecta que el aumento de retracción es directamente proporcional al aumento de porcentaje de aditivo mientras que A2 presenta el máximo en la dosificación intermedia.

Si se compara el efecto que puede tener sobre este parámetro el hecho de adicionar CEM y CEMCL (figura 9.14) se observa que, salvo en A2, las retracciones son algo menores cuando el aditivo es solo CEM. No obstante hay que indicar que las diferencia entre unos valores y otros son poco relevantes.

Se puede observar, del análisis de este ensayo, que hay una influencia importante sobre la retracción de los morteros de arcilla al utilizar diferentes aditivos y la proporción de estos en cada dosificación.

Es conveniente que el fabricante facilite datos que indiquen las proporciones adecuadas de aditivos de acuerdo al tipo de arcilla que contiene el mortero y qué valores alteran el producto con aumento de la retracción. Estos aspectos pueden llegar a determinar tanto a los tiempos de trabajabilidad como el sistema de aplicación del producto.

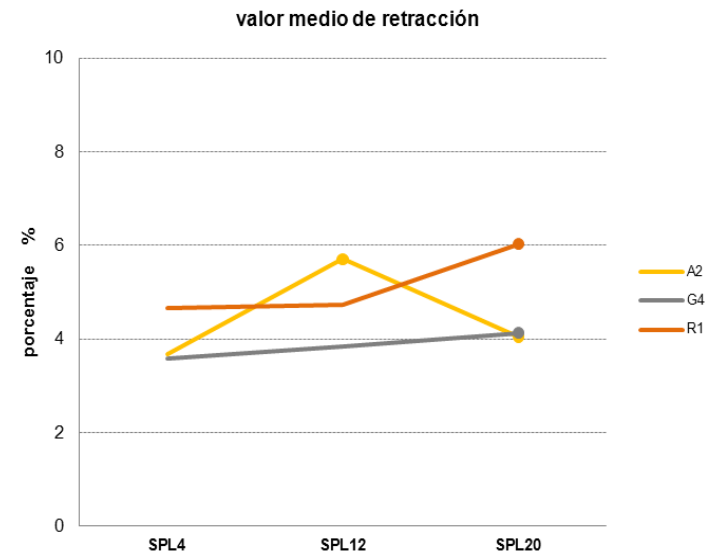


Figura 9.13: Valores medios de retracción longitudinal para dosificaciones con SPL.

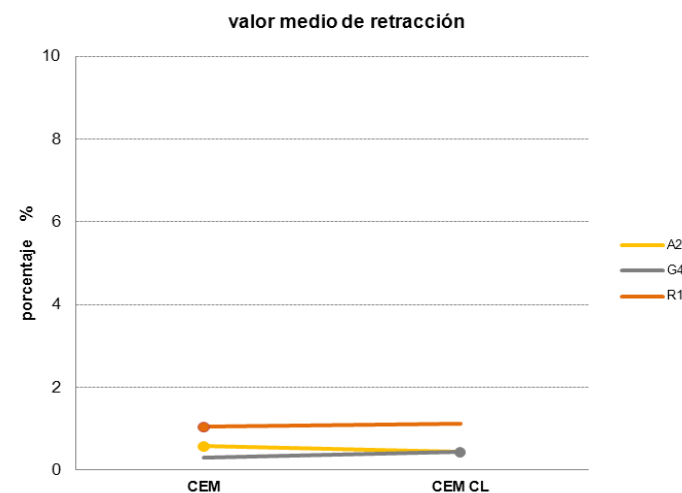


Figura 9.14: Valores medios de retracción longitudinal para dosificaciones con CEM y CEMCL

9.2.3.2.- ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD

Las modificaciones consideradas en este ensayo, como se ha explicado en el capítulo de Experimentación, se plantean con objeto de medir el valor de este coeficiente tan importante para la caracterización de los morteros en general y los de arcilla en particular. Los resultados obtenidos permiten extraer consideraciones muy relevantes con respecto al procedimiento de ensayo y al valor numérico que debe considerarse para un ajuste más realista del comportamiento de estos productos. En el análisis de resultados, pues, se muestran en primer lugar las consecuencias de haber utilizado diferentes soportes y, posteriormente la diferencia del valor del coeficiente obtenido con respecto al que, según la normativa de referencia, sería el dato a definir, en este caso el que proporciona el fabricante. El estudio se completa con la evaluación de los datos obtenidos para cada tipo de arcilla en cada caso.

Se decide que a pesar de aplicar el mismo procedimiento de ensayo según norma UNE-EN 1015-18:2003 se debe modificar las fases de medición en el tiempo y prolongar del ensayo de 90 minutos a 4 días. Esto permite analizar el comportamiento de las diferentes dosificaciones con valores de coeficientes acordes a la capacidad que debe tener el producto de reaccionar al aporte continuo de humedad. La norma UNE no establece valores específicos para el coeficiente de absorción y establece que es el fabricante el que debe facilitar el dato de referencia.

Para evaluar el efecto de los diferentes soportes, se ha elaborado la siguiente grafica (figura 9.15) en la que se muestra el número de amasadas cuyas probetas han permanecido inalteradas en los diferentes tiempos de realización del ensayo:

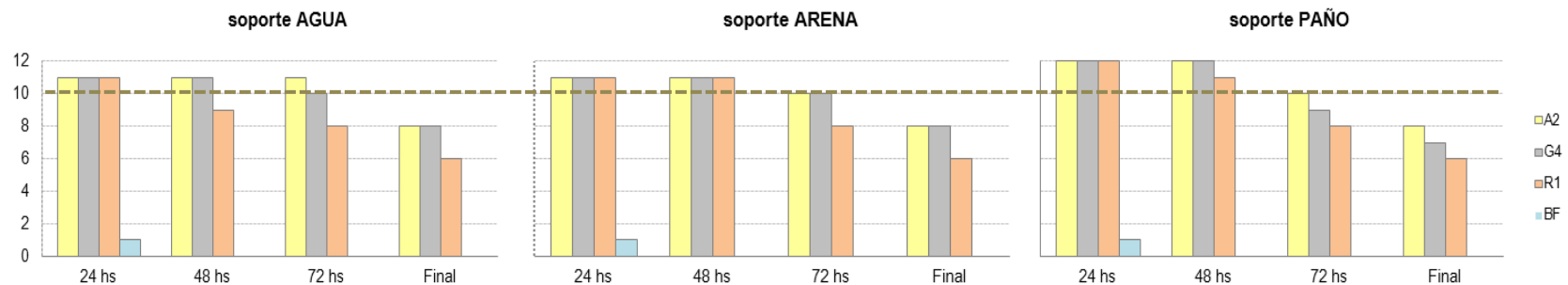


Figura 9.15: Relación de numero de dosificaciones, por tipo de mortero, que se miden en los diferentes periodos de tiempo establecidos para el ensayo de absorción capilar.

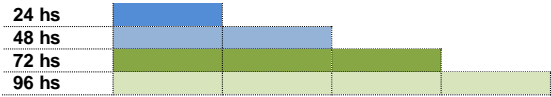
Como puede observarse, la cantidad de muestras es diferente en función de la base soporte empleada de forma que sólo es posible obtener la medida del coeficiente de absorción de todas ellas en las primeras 24 horas cuando se emplea el paño. La medida a las 48 horas es más representativa también con este soporte, ya que se mantienen todas las muestras de A2 y G4 y solo se destruye una amasada de R1. Además, como durante la realización del ensayo se evalúa el grado de estabilidad de las probetas, se comprueba que este soporte y la arena son los que mantienen la menor disgregación de la superficie de contacto directo. Así pues, los valores que se consideran en este apartado son los correspondientes a las medidas realizadas en el recipiente con probetas sobre paño ya que es el único soporte que permite evaluar la respuesta de todas las dosificaciones en todas las fases temporales definidas.

En esta investigación se han determinado dos valores del coeficiente de absorción: por un lado el que corresponde al procedimiento establecido por norma UNE (con toma de datos a los 10 y a 90 minutos) y por otro, el valor correspondiente a las 96 horas tal como se argumenta en el capítulo de Experimentación. En la tabla siguiente, Tabla 9.1, se muestra un resumen de los resultados obtenidos y se marcan los periodos de durabilidad de las probetas ensayadas para cada dosificación:

Tabla 9.1

ENSAYO DE ABSORCION DE AGUA POR CAPILARIDAD: UNE-EN 1015-18:2003																									
Valores medios finales según UNE y final de ensayo - Coeficiente de Absorción "C" (kg/(m2.min0.5))																									
DOSIFICACIONES																									
color	recipiente	sin aditivo		con aditivos																					
				CL						HL						SPL						CEM		CEMCL	
				4		12		20		4		12		20		4		12		20					
		Coef C	Final	Coef C	Final	Coef C	Final	Coef C	Final	Coef C	Final	Coef C	Final	Coef C	Final	Coef C	Final	Coef C	Final	Coef C	Final	Coef C	Final	Coef C	Final
A2	paño de algodón	0,39	2,51	1,22	1,48	1,52	2,53	1,79	2,69	1,58	3,05	2,26	2,71	1,82	2,52	1,28	2,56	1,44	2,26	1,89	2,84	1,86	2,95	1,46	3,12
G4		0,50	2,71	1,26	2,40	1,59	2,34	1,75	2,59	1,62	2,63	1,95	2,34	2,01	2,45	1,37	2,21	1,31	1,79	1,25	1,96	1,94	2,36	1,92	2,85
R1		0,30	3,16	1,45	3,14	1,61	2,57	1,74	2,60	1,79	3,49	1,65	2,67	1,71	3,07	1,12	2,57	1,24	2,62	1,35	2,62	1,54	2,88	1,61	3,58
BF		0,23	1,95																						

-Referencia definida según la durabilidad total de probetas en las diferentes fases de medición (las celdas sin color completan el ensayo hasta el final):



Para evaluar adecuadamente las diferencias entre estos dos datos se ha calculado el **porcentaje de variación**. El resultado se muestra en la Figura 9.16:

Como puede observarse las mayores diferencias corresponden a los morteros sin aditivos, con datos que superan el 80 % de absorción en todos los casos. Las diferencias menores deben analizarse según la influencia que muestra cada uno de los aditivos en la dosificación correspondiente. El interés fundamental recae en la evidente necesidad de modificar los tiempos indicados en la norma UNE, ya que como se está comprobando el valor del coeficiente puede ser claramente superior en la mayoría de los casos.

Las diferencias más evidentes entre los valores corresponden en cada caso a los morteros R1; en todos los casos las diferencias son significativas lo cual justifica la necesidad de ajustar el parámetro tiempo de forma que se consigan valores más representativos del comportamiento de estos productos. Para el estudio que se está realizando también es interesante destacar que tanto los tipos de arcillas como los porcentajes de aditivos empleados deben especificarse claramente puesto que no se observan tendencias ni pautas claras con respecto a la succión capilar.

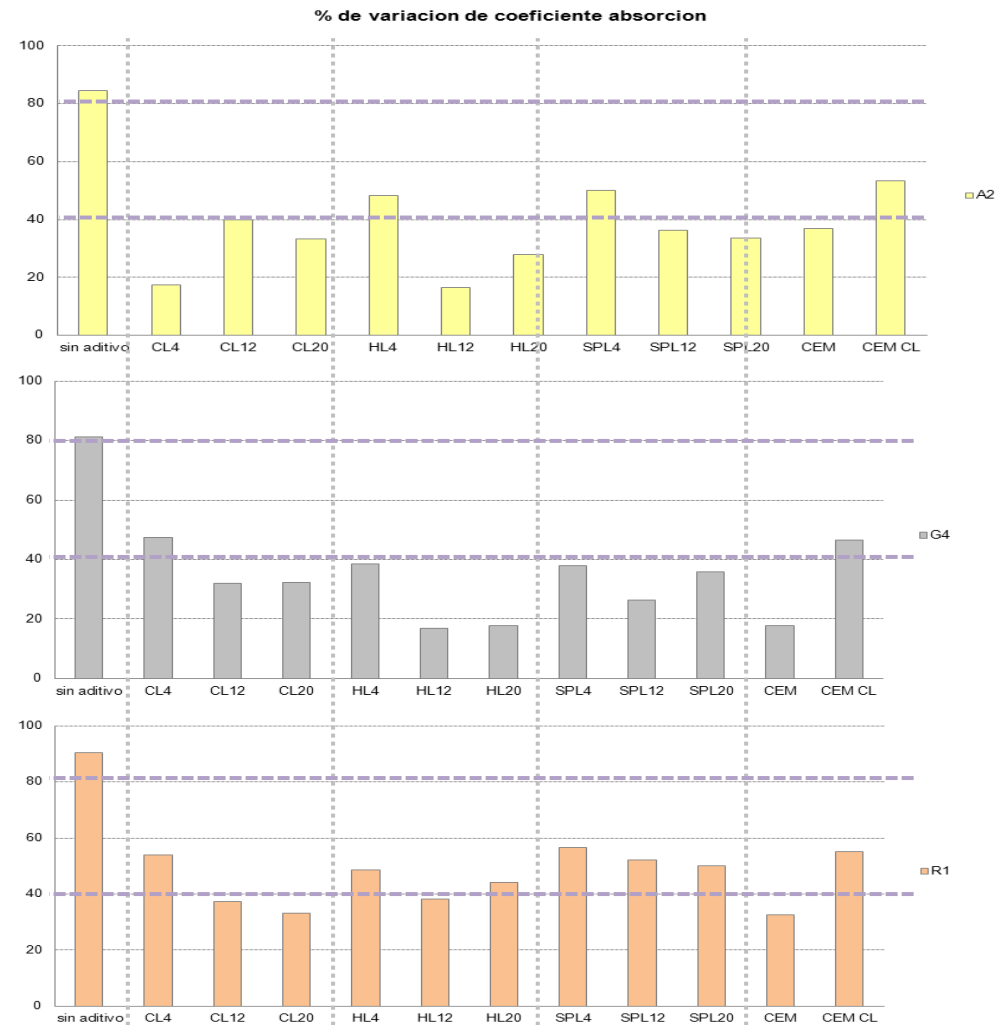


Figura 9.16: Evolución en porcentaje de los coeficientes de absorción por capilaridad para todas las dosificaciones

En las siguientes gráficas (figuras 9.17 a 9.20) se muestra, para cada tipo de mortero los datos obtenidos durante el ensayo, con indicación del intervalo en el que, según las fuentes consultadas, se encuentran los valores de referencia.

En el caso de los morteros A2, figuras 9.17 y 9.18, se aprecia que la mayor parte de las dosificaciones completan el ensayo, sólo dos no superan las 48 hs.

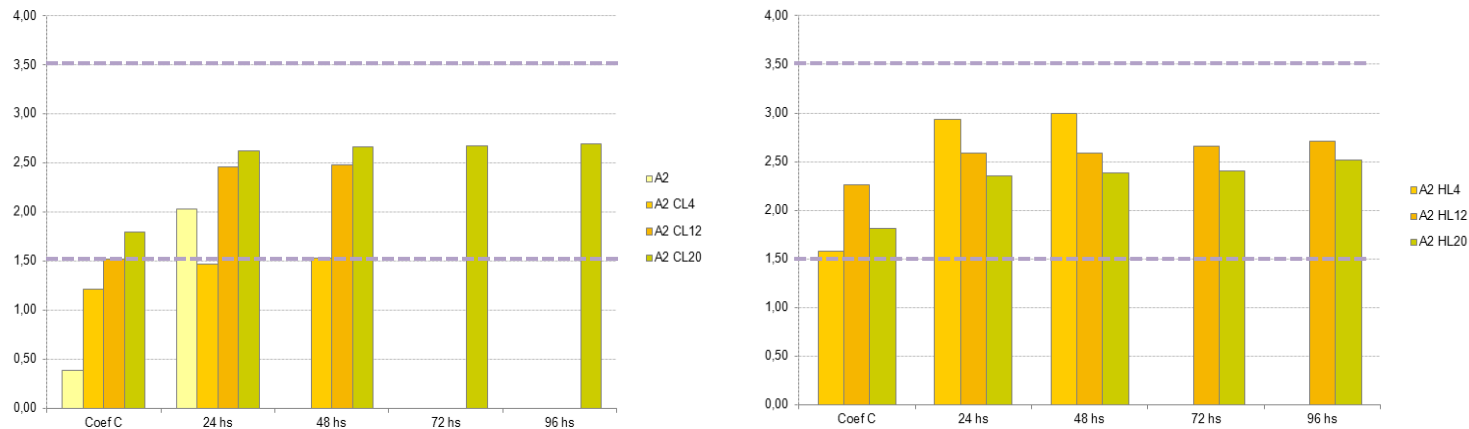


Figura 9.17: Evolución de las dosificaciones de A2 según los periodos de medición de las probetas en ensayo de absorción capilar

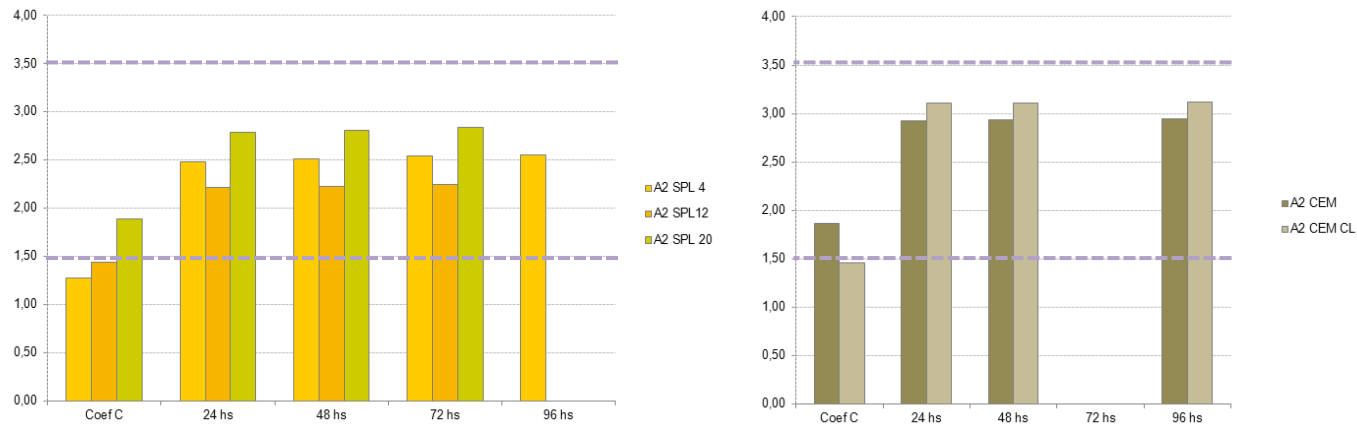


Figura 9.18: Evolución de las dosificaciones de A2 según los periodos de medición de las probetas en ensayo de absorción capilar

Para este mortero el valor máximo se obtiene con CEMCL y el mínimo con CL4. Las dosificaciones CL4 y SPL12 mejoran la estabilidad pues se obtienen los menores coeficientes de absorción de agua por capilaridad. Por lo contrario, con CL20, HL4 y SPL20 se obtienen los valores más elevados de absorción. Con CEM resultan valores elevados, superando incluso a HL4, y con CEMCL se superan los datos de CEM al continuar con el ensayo varios días.

La durabilidad de los morteros G4, Figura 9.19, es algo menor que los anteriores, la tercera parte de las dosificaciones no superan las 48 hs y sólo la mitad completan el ensayo. Los valores máximos se obtienen con las dosificaciones CEM, en particular con CEMCL y el mínimo con HL12. En todos los morteros con aditivos el coeficiente de absorción disminuye, excepto en el caso de CEMCL.

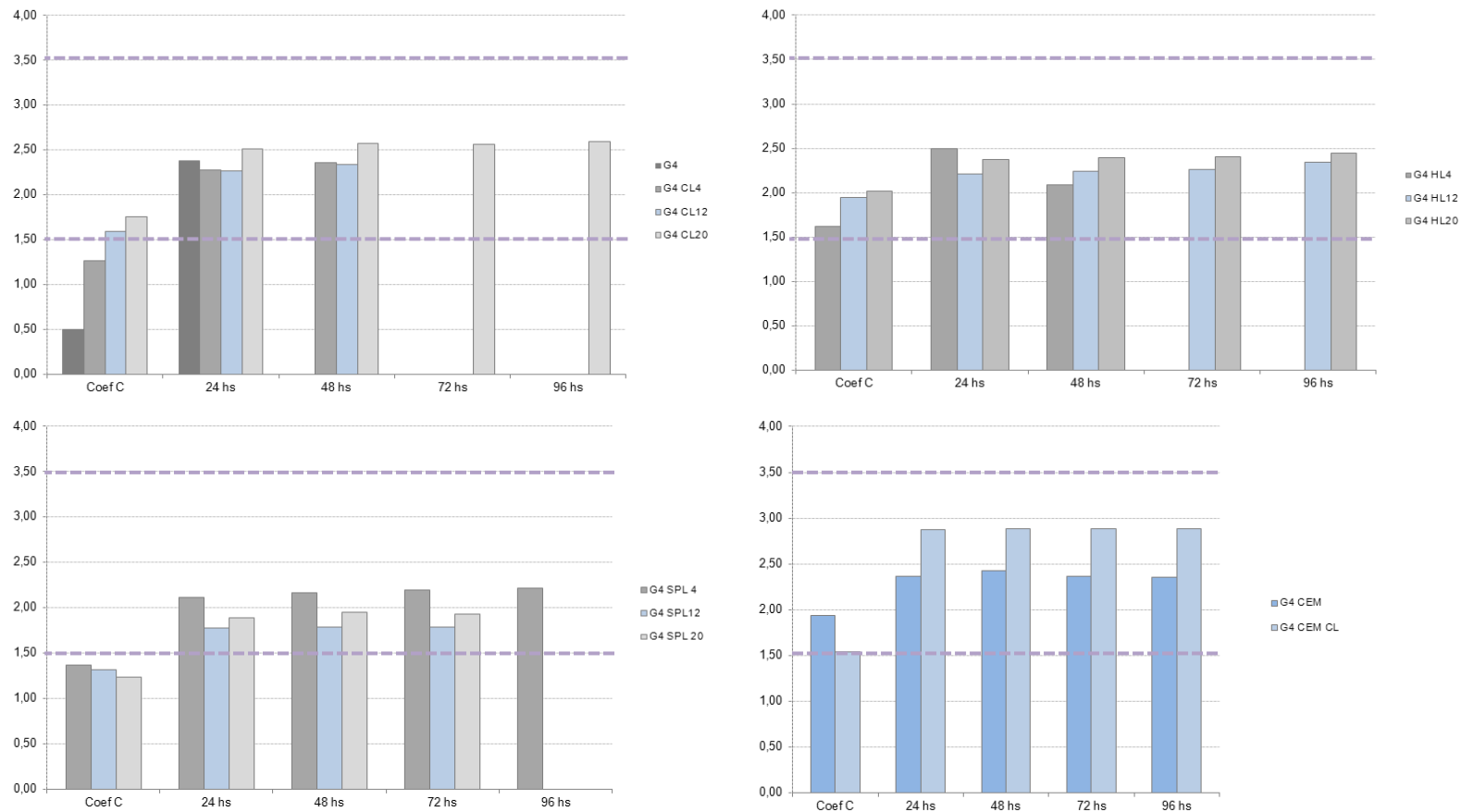


Figura 9.19: Evolución de las dosificaciones de G4 según los periodos de medición de las probetas en ensayo de absorción capilar

Para las dosificaciones con cales CL y HL el valor de absorción mayor se obtiene en las dosificaciones de menor cantidad de aditivo (4%) y disminuye al aumentar la proporción. Es relevante el hecho de que el coeficiente de absorción no se modifica apenas al pasar de las dosificaciones medias a altas (12% y 20%).

En las dosificaciones de R1, Figura 9.20, la mitad de las dosificaciones completan el ensayo. El valor máximo de absorción se obtiene con CEMCL y el mínimo con CL20. Sólo al adicionar CL los morteros absorben menos cantidad de agua conforme aumenta el porcentaje de aditivos, en el resto de casos el efecto es el contrario. Por lo tanto, los valores más elevados de coeficiente de absorción resultan en CL4, HL4 y SPL12 y SPL20.

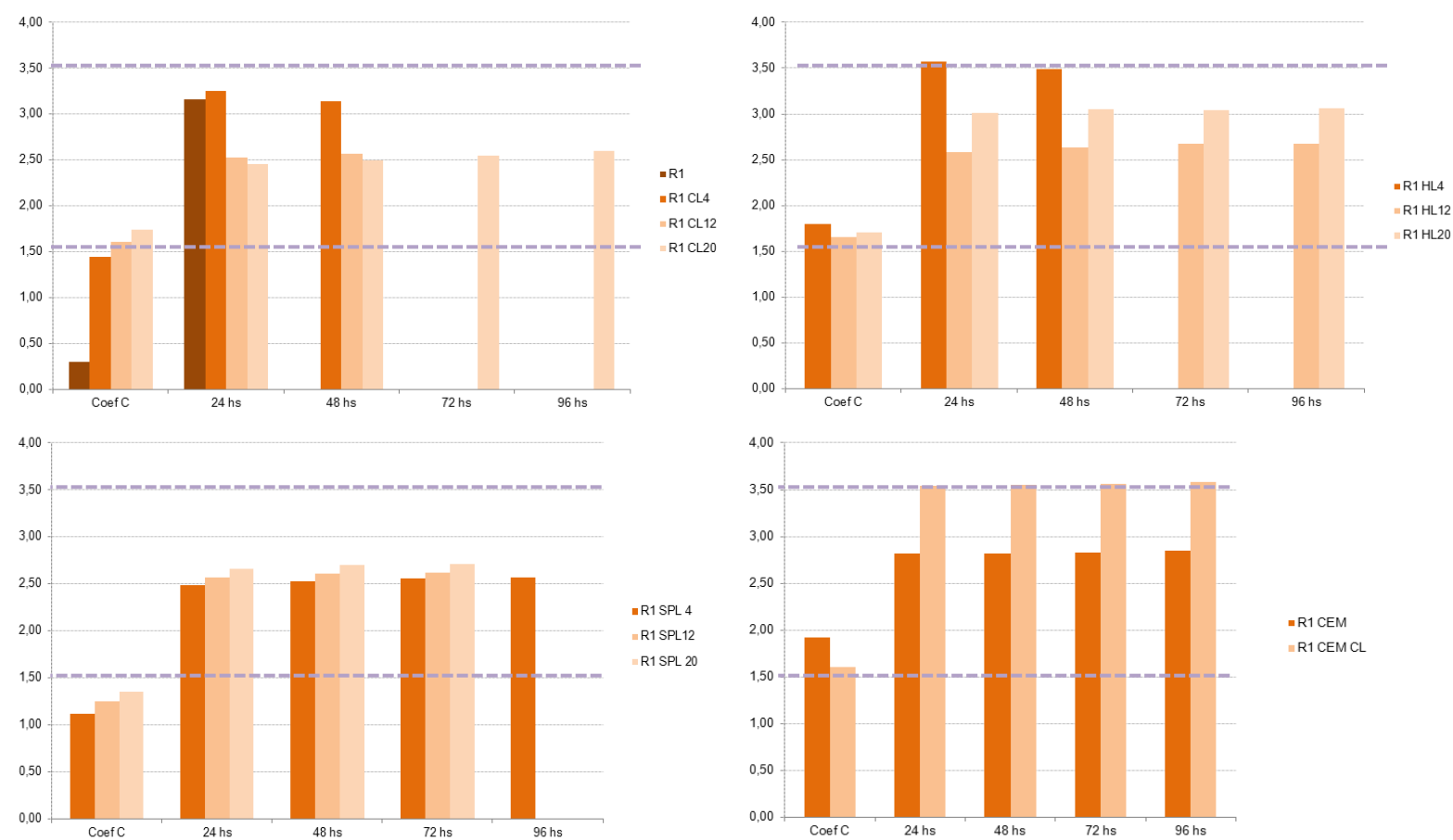


Figura 9.20: Evolución de las dosificaciones de R1 según los periodos de medición de las probetas en ensayo de absorción capilar

De forma evidente las dosificaciones que presentan una pauta regular en todos los morteros son CEM y CEMCL, con las que además se completa el ciclo del ensayo aunque a expensas de un aumento importante de la succión capilar. Para el resto de morteros con aditivos los comportamientos no son homogéneos, ni es posible detectar tendencias; por esta razón es importante especificar claramente el tipo y porcentaje de aditivo.

9.2.3.3.- PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

El ensayo de permeabilidad permite analizar, a través de las variaciones de peso de las probetas de mortero de arcilla, el equilibrio que se produce en el intercambio de flujos de vapor de agua y cómo influyen los diferentes tipos de dosificaciones, en mayor o menor medida, en la capacidad de intercambio del mismo con el medio ambiente. En el análisis de resultados de este ensayo las condiciones de temperatura y humedad en las que se ha realizado demuestran que los resultados no se ven afectados con los que se obtienen considerando las condiciones de la norma de referencia UNE-EN 1015-19:199/A1:2005. Los valores obtenidos en todas las dosificaciones se encuentran comprendidos en el intervalo de referencia de 5 a 13 μ (CRATerre, 2009), tanto para el análisis del flujo ascendente (NKO_3) como el descendente (LiCl) de vapor de agua.

Para caracterizar este tipo de productos, además de aportar los valores del coeficiente de permeabilidad, se van a estudiar otros aspectos relacionados con el flujo del vapor de agua. Teniendo en cuenta que una de las principales ventajas del uso de morteros de arcilla reside en la capacidad de regular el contenido de humedad de un determinado ambiente, se estima relevante la evaluación de este intercambio en términos más cercanos y comprensibles, por lo que se plantea un estudio enfocado en las modificaciones de peso registradas durante el ensayo.

En una primera aproximación se van a presentar todos los datos obtenidos con objeto de determinar el grado de simetría en el intercambio de vapor de agua; posteriormente se analizarán las circunstancias más llamativas o singulares y, para finalizar, se indicarán los comportamientos de la permeabilidad de las diferentes dosificaciones según las arcillas y los distintos aditivos.

En la Figura 9.21 se representa la diferencia entre el flujo de vapor de agua ascendente y el descendente, mostrando esta variación de forma porcentual. Se indican mediante líneas horizontales los valores correspondientes al 10, 20 y 50%. Una desviación del 10% significa que la

diferencia entre los flujos es mínima, la del 20% comienza a indicar que los flujos no son simétricos y a partir del 50% claramente aparece una asimetría duplicando valores de un flujo con respecto al otro.

Se observa que en un 20% de las dosificaciones ensayadas la regulación del flujo de vapor de agua es simétrica; algo más del 50% muestran cierto predominio de un flujo con respecto al otro y en el resto aparece una clara asimetría en uno de los sentidos del flujo.

En las dosificaciones sin aditivo las variaciones de intercambio son más altas; en A2 se presenta la máxima diferencia, en G4 sólo CL4 es más irregular, mientras que en R1 hay varias dosificaciones en las que la asimetría es más alta. Los morteros con aditivos A2 y R1 muestran más dosificaciones asimétricas, en general, que los G4.

En ninguno de los casos puede determinarse que las modificaciones se deban al tipo de arcilla o al tipo de aditivo. Se muestra claramente que el tipo de aditivo modifica el flujo de vapor y la dosificación del mismo también puede hacer que aumente o disminuya esta diferencia.

Estas cuestiones resultan interesantes de ver puesto que obligan a matizar en qué circunstancias (porcentaje de componentes, tipo de aditivo y tipo de arcilla) el mortero tiene la capacidad de regulación de la humedad ambiente y en qué otras podrá acabar empapado o demasiado seco al predominar un sentido de circulación del vapor de agua frente al otro.

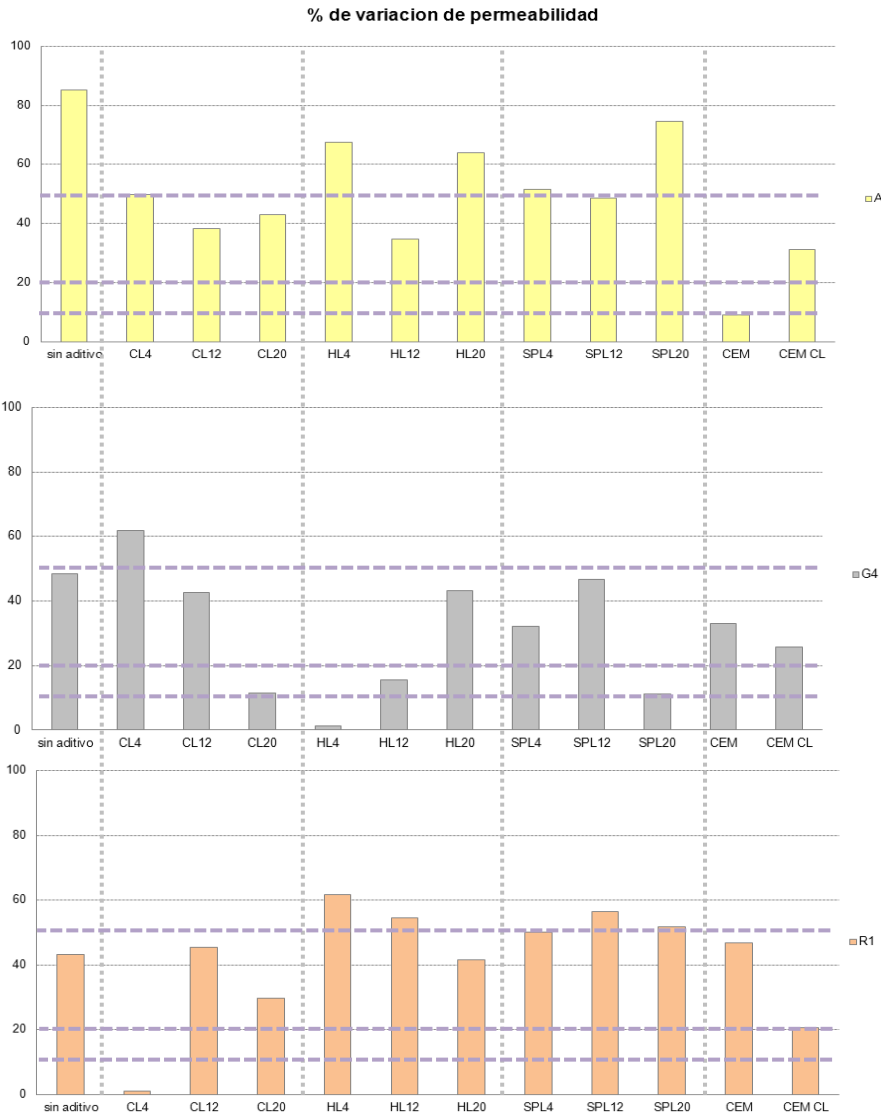


Figura 9.21: Porcentaje de variaciones de permeabilidad para todas las dosificaciones

En sentido general, se puede definir que, en este ensayo de permeabilidad, el mortero que mejor regula el flujo de vapor de agua es el G4, presenta mayor simetría y los valores máximos. Por el contrario, el mortero que peor comportamiento demuestra frente al intercambio de vapor de agua en situaciones cambiantes es A2, ya que presenta el mayor número de dosificaciones descartables.

Para analizar cómo influyen los diferentes aditivos en los distintos tipos de arcillas se elaboran las figuras 9.22 a 9.24, en ellas se muestran para cada tipo de mortero los valores medios de permeabilidad en cada sentido del flujo de vapor para todas las dosificaciones.

En el caso de los morteros A2, figura 9.22, los valores registrados parecen indicar que no serían los más adecuados para regular la humedad de un entorno.

En primer lugar por las diferencias entre los flujos ascendentes y descendentes que son muy acusadas en la mayoría de las dosificaciones y, en segundo lugar, casi todos los valores son inferiores al mínimo indicado como referencia.

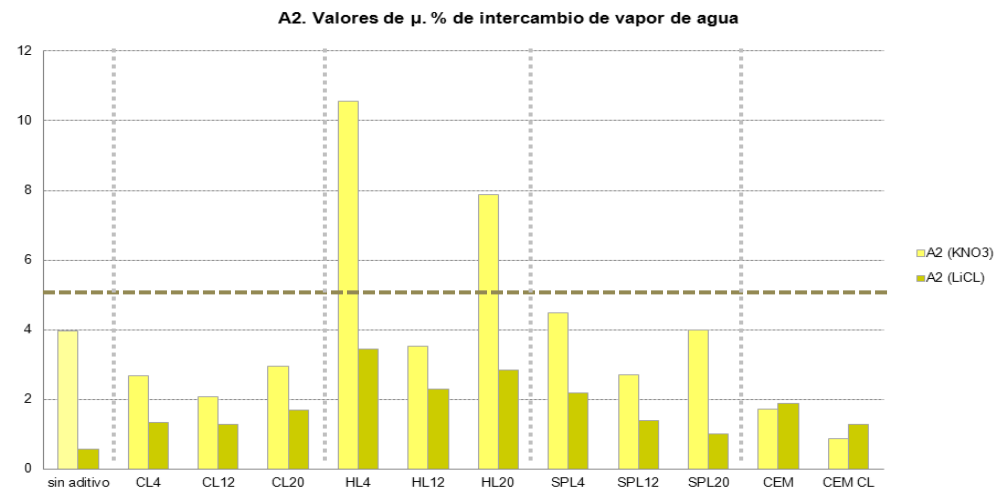


Figura 9.22: Coeficiente de permeabilidad A2

No obstante, la adición de CEM y CEMCL sería la más adecuada para regular el flujo de vapor de agua aunque la transferencia sea muy baja. En todas las dosificaciones de cales, el flujo ascendente es mayor que el descendente; este comportamiento se invierte con CEM y CEMCL.

Los valores correspondientes a los morteros G4, se muestran en la figura 9.23. En este caso se observa mayor asimetría en las dosificaciones con mayor porcentaje de aditivo y se detectan varios morteros (CL20, HL4 y 12 y SPL20) que podrían ser reguladores de la humedad ambiente ya que el intercambio de vapor de agua es similar en ambos sentidos.

Sin embargo, los valores de permeabilidad son inferiores a los de referencia, casi en un 50%.

En este tipo de mortero no es inmediato deducir qué flujo predomina sobre el otro: con CL y HL el flujo ascendente es igual o superior al descendente; en SPL hay una inversión con la dosificación intermedia, siendo esta ultima la que presenta el mismo comportamiento que las anteriores.

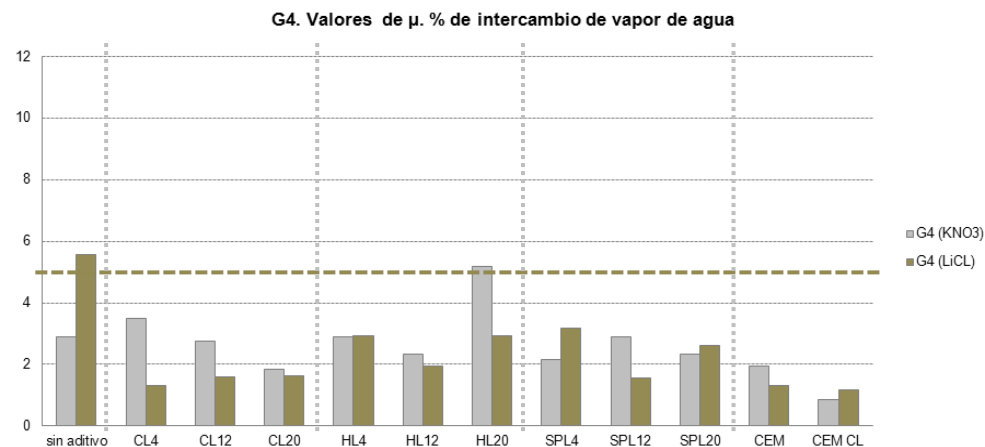


Figura 9.23: Evolución en porcentajes de flujos ascendentes y descendentes de cada dosificación para G4

En las dosificaciones con CEM en cada caso predomina uno de los sentidos del flujo, también se observa que los valores son menores a los de las demás amasadas.

Los valores obtenidos para el mortero R1, figura 9.24, muestran que no sería el tipo de mortero más adecuado en la regulación del vapor de agua en un entorno. Exceptuando CL4 y CEMCL, en el resto de dosificaciones las diferencias son muy importantes.

En todos los casos analizados el flujo ascendente es superior al descendente y no se detecta relación entre el aumento de porcentaje de aditivo con un claro aumento o disminución de los valores de permeabilidad.

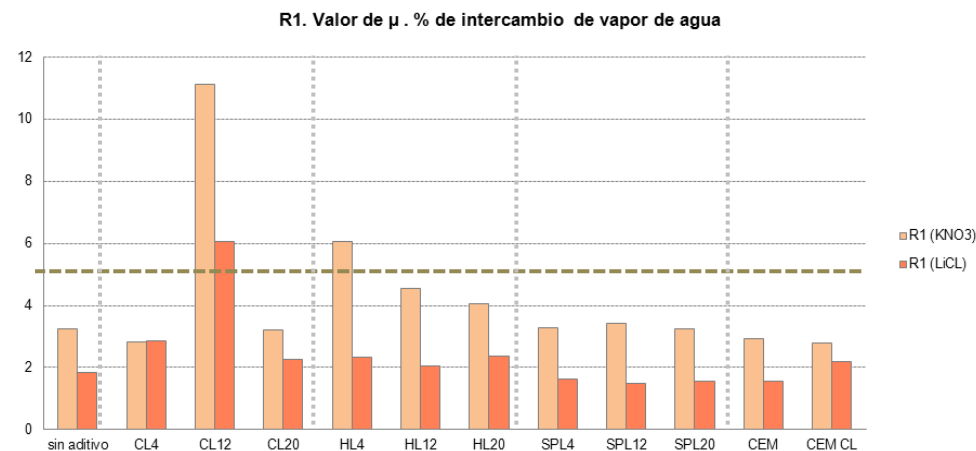


Figura 9.24: Evolución en porcentajes de flujos ascendentes y descendentes de cada dosificación para R1

Lo más destacable para R1 es que hay una cierta uniformidad en cuanto al valor del coeficiente, en SPL, CEM y CEM CL.

En definitiva, una vez analizados los datos hay una serie de cuestiones interesantes de destacar tanto para futuras investigaciones como para comprender mejor el fenómeno que se estudia. Se han seguido las indicaciones y procedimientos de la norma UNE correspondiente y es conveniente establecer modificaciones al respecto que reflejen mejor el comportamiento de estos materiales: en primer lugar, sería más realista finalizar el ensayo cuando las probetas presenten algún tipo de deterioro evidente o se destruyan, o bien lleguen a una saturación de vapor de agua que evidencie peso constante. Otro aspecto destacable, sería cuestionar los valores de referencia, para lo cual habría que diseñar un método de ensayo en que se comprobara la capacidad de la probeta de reaccionar ante entornos cambiantes.

- COMPORTAMIENTO MECÁNICO

9.2.3.4.- COMPACIDAD: MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE ULTRASONIDOS

La determinación de la compacidad mediante la medida de la velocidad de transmisión de ultrasonidos está plenamente justificada en diversos ámbitos de la arquitectura y conocimiento de materiales. En la mayoría de los casos existe una relación directa entre estos valores y las resistencias mecánicas y, como se ha indicado en el capítulo previo de Experimentación, hay base científica suficiente para sea una técnica que se aplique en esta investigación.

El análisis de los datos obtenidos se plantea con diversas motivaciones: por un lado determinar si la compacidad que se consigue en la fabricación de las probetas es homogénea o si por el contrario se trata de productos condicionados por la dirección de aplicación. Para detectar esta cuestión se obtienen lecturas en sentido longitudinal y sección transversal de las piezas y se evalúa la diferencia entre ambas; por otra parte, la obtención del dato en sí posibilita determinar la influencia que puedan tener los tipos de arcillas y los diferentes aditivos y su dosificación, para ello se analiza los resultados obtenidos en cada uno de los casos.

Para finalizar este apartado, se detectarán aquellos casos singulares en los que pueda determinarse una relación con las características mecánicas. En la tabla 9.2 siguiente, se muestran los resultados obtenidos y la diferencia porcentual entre los valores en cada dirección de medida:

Tabla 9.2

ENSAYO de ULTRASONIDOS mm/s													
tipo de mortero	Medición de probeta	sin aditivo	con aditivos										
			CL			HL			SPL			CEM	CEM CL
			4	12	20	4	12	20	4	12	20		
A2	longitud	1,59	1,19	1,36	1,46	1,14	1,34	1,50	1,21	1,27	1,53	1,16	1,37
	ancho	1,55	1,24	1,49	1,50	1,19	1,32	1,42	1,15	1,25	1,47	1,24	1,42
	diferencia (%)	3	4	9	3	4	1	5	5	2	4	6	4
G4	longitud	1,28	1,17	1,47	1,61	1,25	1,36	1,42	1,15	1,44	1,55	1,26	1,37
	ancho	1,24	1,14	1,49	1,59	1,25	1,28	1,34	1,09	1,35	1,44	1,30	1,40
	diferencia (%)	3	3	1	1	0	6	6	5	6	7	3	2
R1	longitud	1,73	1,10	1,28	1,41	1,17	1,33	1,46	1,27	1,50	2,13	1,15	1,29
	ancho	1,64	1,12	1,18	1,33	1,19	1,38	1,40	1,22	1,28	1,03	1,24	1,39
	diferencia (%)	5	2	8	6	2	4	4	4	15	52	7	7
BF	longitud	1,45	Se marcan los valores máximo de transmisión de ultrasonidos para las dosificaciones sin y con aditivos										
	ancho	1,32											
	diferencia (%)	9											

De los valores expuestos se detecta que el mortero que resulta más compacto es R1 y el que menos G4. Como puede observarse, salvo en dos casos puede asumirse que las medidas en ambas direcciones son homogéneas, esto indica que el método de compactación seguido para la fabricación de las probetas sólo ha modificado la estructura final del material en los casos señalados (R1SPL12 y R1SPL20). De todas formas las pequeñas variaciones entre las medidas longitudinales y transversales podrían significar leves alteraciones en la compacidad del material por lo que en las gráficas siguientes (figuras 9.25 a 9.27), se muestran los valores obtenidos para cada tipo de mortero y dosificaciones, indicando ambos datos.

En el caso de los morteros A2, figura 9.25, se observa que las diferentes adiciones no aportan de manera clara y neta mayor compacidad al mortero sin aditivo. Otro aspecto a destacar, es que los valores longitudinales y transversales son muy regulares aunque no se detecta una pauta estable que permita determinar cuál de las dos medidas prevalece sobre la otra, ya que cada aditivo presenta circunstancias diferentes.

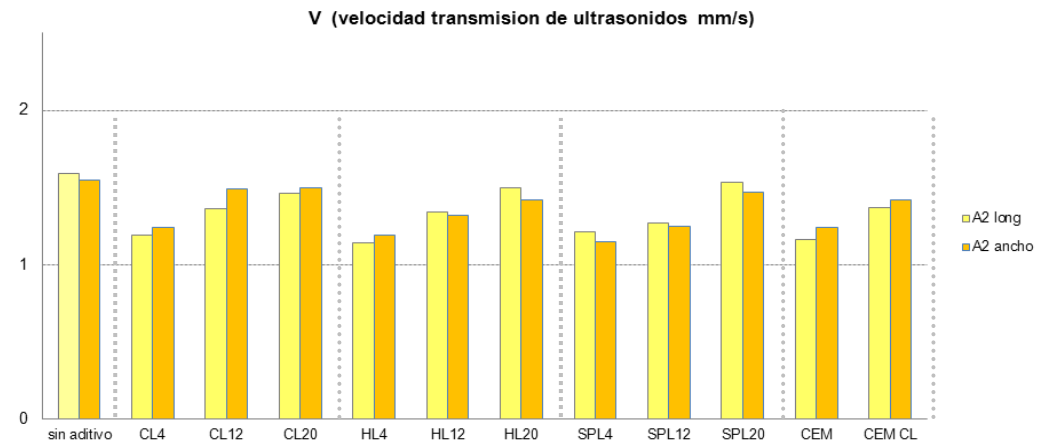


Figura 9.25: A2: velocidad de transmisión de ultrasonidos

La mayor compacidad, exceptuando el mortero sin aditivos se detecta en las dosificaciones de mayor porcentaje de cal, independientemente del tipo de cal utilizada. Se observa que hay una relación directa en el aumento de porcentaje de aditivo y el aumento de la compacidad para todos los tipos de cales. En el caso del cemento también se observa que mejora la compacidad del producto con el aporte de cal.

En el análisis de los morteros G4, figura 9.26, se detecta que las adiciones de cal aumentan el valor de compacidad del mortero sin aditivo a partir de los porcentajes medios (12%) y altos (20%), esto ocurre para todas las cales.

Aunque son pequeñas las diferencias entre los valores longitudinal y transversal, es destacable que tanto sin aditivo como con cales, la mayor compacidad de los morteros se detecta en sentido longitudinal.

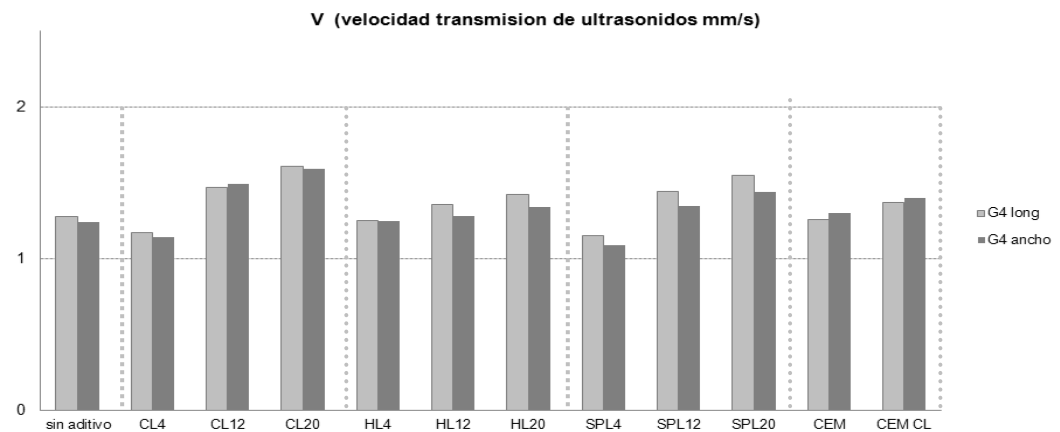


Figura 9.26: G4: velocidad de transmisión de ultrasonidos

Sin embargo, con CEM y CEMCL es el valor transversal el que muestra mayor compacidad. Se observa el aumento proporcional de la compacidad con el mayor porcentaje de aditivo para las dosificaciones con cal y para el caso de CEMCL se repite la pauta de mejora de compacidad con aporte de cal.

Los valores obtenidos para el mortero R1, muestran que tan sólo la medida longitudinal, correspondiente a SPL20, indica mayor compacidad que el mortero sin aditivo.

En todos los demás casos los aditivos ocasionan una disminución de este parámetro. Los resultados permiten verificar la pauta de que con el aumento de cal en la dosificación aumenta la compacidad del mortero.

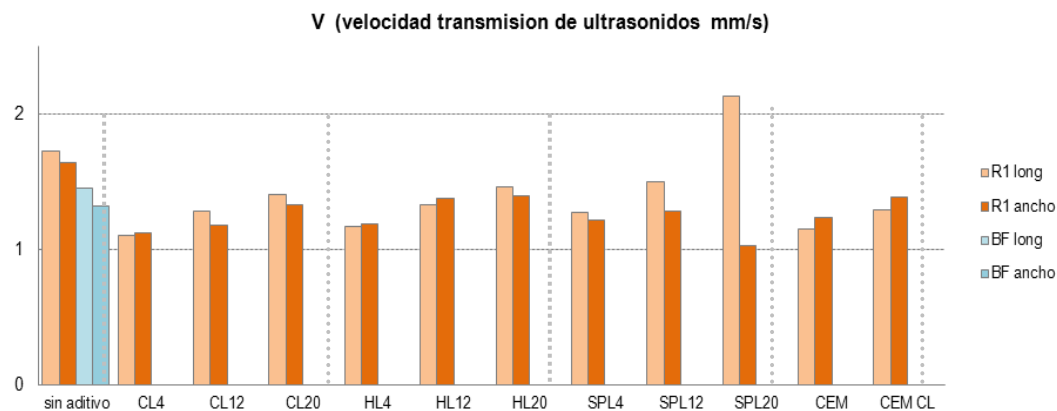


Figura 9.27: R1 y BF: velocidad de transmisión de ultrasonidos

Con carácter general los valores longitudinales son algo mayores que los trasversales exceptuando SPL20 en el que la diferencia es muy acusada. En el caso de CEM y CEMCL se aprecia lo contrario ya que la compacidad es mayor en sentido transversal.

En definitiva, se puede afirmar que el aporte de aditivo de cal y de cemento no mejora de manera neta ni uniforme la compacidad de los morteros estudiados, sólo en el caso de las arcillas grises (G4) esta estrategia aporta mejor comportamiento. La comparación con los resultados de los ensayos mecánicos permitirá decidir si la estabilización de los morteros mejora las propiedades del producto.

9.2.3.5.- RESISTENCIA FLEXOTRACCIÓN Y COMPRESION

Los ensayos de resistencia mecánica permiten analizar la capacidad que tienen los morteros para soportar esfuerzos y deformaciones y son útiles para establecer cómo pueden influir las tensiones de carga mecánica en otras propiedades del producto como la durabilidad y adhesión a soportes.

El procedimiento del ensayo para determinar las resistencias mecánicas a flexión y compresión se desarrolla según las especificaciones de la norma UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007, aunque para los valores de referencia se consideran la norma alemana 18952 (Minke, 2001) y el rango de valores que facilita el fabricante. Es importante destacar que la decisión de triplicar el número de probetas ha sido un factor determinante ya que este aumento, con respecto a lo especificado por la norma UNE, ha posibilitado mayor fiabilidad de los valores dado que en algunas series ha sido necesario descartar algunas de las piezas, bien por la dinámica del ensayo, bien por la dispersión de los resultados obtenidos.

En este apartado se analizan los resultados de los valores de resistencias mecánicas de manera independiente, por un lado los de resistencia a flexión y por otro los de resistencia a compresión, para posteriormente determinar si existen correlaciones que permitan detectar la influencia que puedan tener los tipos de arcillas y los diferentes aditivos y su dosificación, en los resultados obtenidos para ambas resistencias.

- Análisis de resultados de resistencia a flexión

Los valores obtenidos para la resistencia a flexión, se muestran en las gráficas de la figura 9.28, donde se marca con una línea horizontal el rango de valores de referencia, entre 0.6 y 0.8 N/mm².

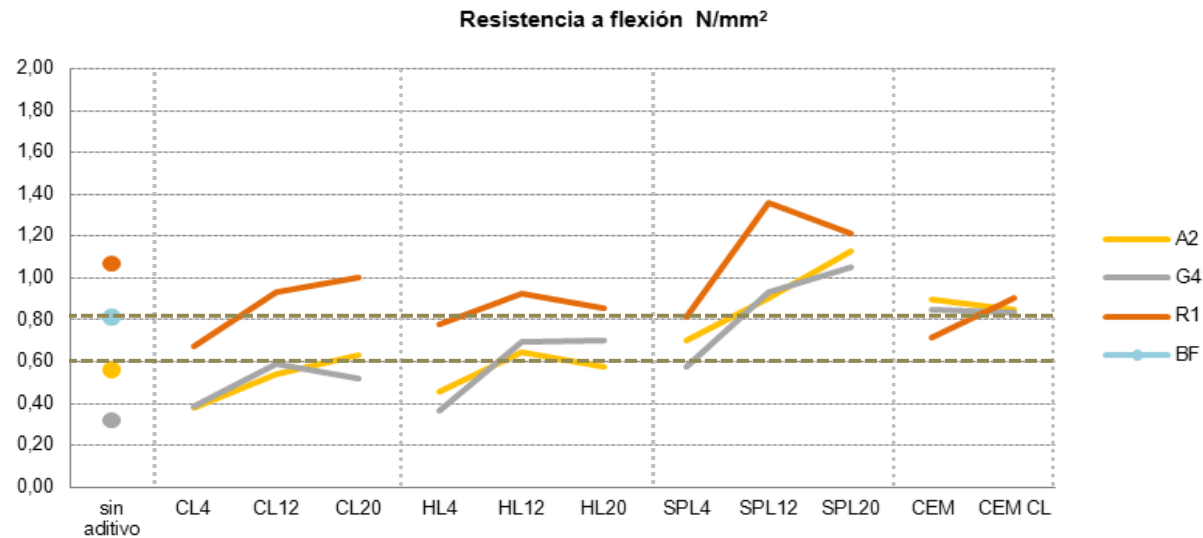


Figura 9.28: Valores medios de resistencia a flexión para todas las dosificaciones

En sentido general, se puede observar que los valores de resistencia a flexión en los morteros sin aditivos son diferentes según el tipo de arcilla que contiene. Salvo en las dosificaciones con CEM, los morteros R1 muestran los valores más altos de resistencia, mientras que los G4, por el contrario, presentan los de menor valor. Con respecto a los valores de referencia, como se observa en la grafica, solo algunas dosificaciones de morteros A2 y G4 tienen resistencias a flexión inferiores.

En las dosificaciones con aditivos no se puede definir con claridad el efecto de la proporción de los mismos con respecto a su influencia en la resistencia; para R1 significa pérdida de resistencia excepto con SPL y, en cambio, para A2 y G4 este valor aumenta de acuerdo al porcentaje de cal. En todos los casos la adición de cal modifica el valor de resistencia, siendo más evidentes son las dosificaciones medias (12%) que para R1 y G4 presentan puntos de inflexión; para A2 esta dinámica sólo se detecta en HL.

A continuación, para analizar cómo influyen los diferentes aditivos en los distintos tipos de arcilla se representan los valores obtenidos en las figuras 9.29 a 9.31.

Con respecto al mortero A2, figura 9.29, la adición de aditivo mejora el valor resistente en la mayoría de las dosificaciones si se tiene en cuenta el dato del mortero sin aditivo; no obstante la mayoría de los datos son inferiores a los valores de referencia. El aporte de cal mejora claramente la resistencia a partir de las dosificaciones medias aunque el aumento no es proporcional a la dosificación de componentes; las proporciones del 4% hacen disminuir este valor excepto en SPL.

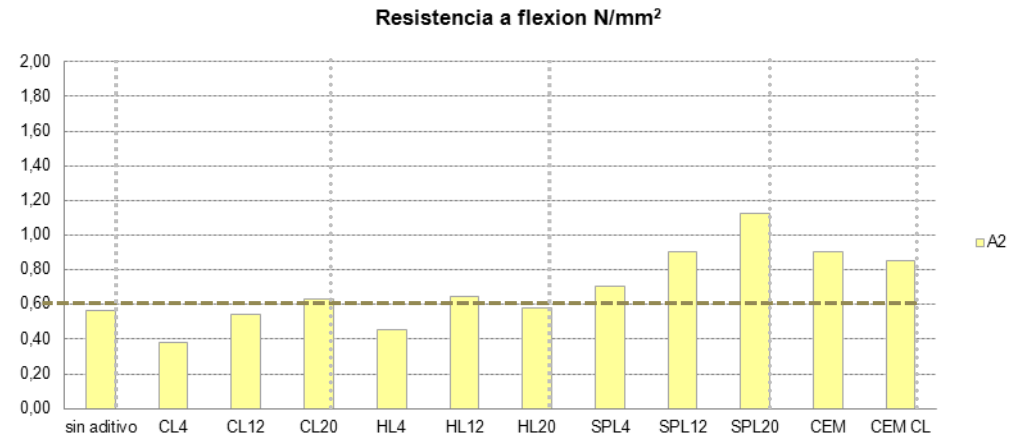


Figura 9.29: A2: valores medios de resistencia a flexión

El aumento de la resistencia es gradual conforme se va adicionando mayor porcentaje de aditivo cuando éste es CL y SPL. Es interesante destacar que al añadir cal a la dosificación CEM la resistencia disminuye aunque ligeramente. Claramente la dosificación y aditivo que mejor efecto produce es SPL.

En el caso de los morteros G4, figura 9.30, se comprueba que los aditivos mejoran la resistencia a flexión aunque sólo en la mitad de las dosificaciones se obtienen valores comparables a los de referencia. Las dosificaciones medias son las que proporcionan los valores más altos en cada tipo de cal, proporciones inferiores o superiores al 12% no favorecen esta resistencia excepto en las cales SPL.

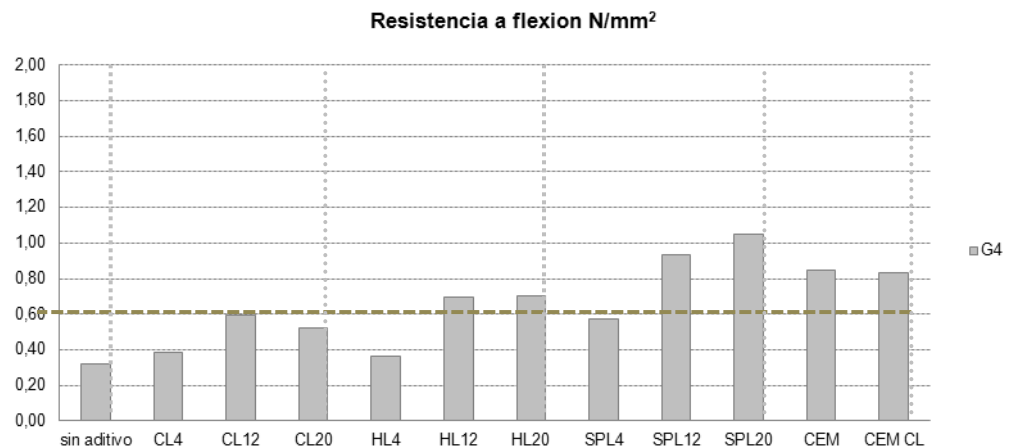


Figura 9.30: G4: valores medios de resistencia a flexión

En estas últimas se da la circunstancia de que el aumento de la resistencia se corresponde con el porcentaje de aditivo. Es interesante que, en estos morteros, el aporte de cal en CEM no modifica el valor obtenido.

En los morteros R1 (figura 9.31) se observa que la resistencia a flexión es más elevada que en el resto de tipos estudiados y se da la circunstancia de que todas las dosificaciones son comparables con los valores de referencia. La adición de cales sólo mejora la resistencia con respecto al mortero sin aditivo en dos dosificaciones, el resto presenta valores similares e, incluso, inferiores.

El aditivo SPL empleado en porcentajes medios y altos es el que proporciona los valores de resistencia a flexión más elevados.

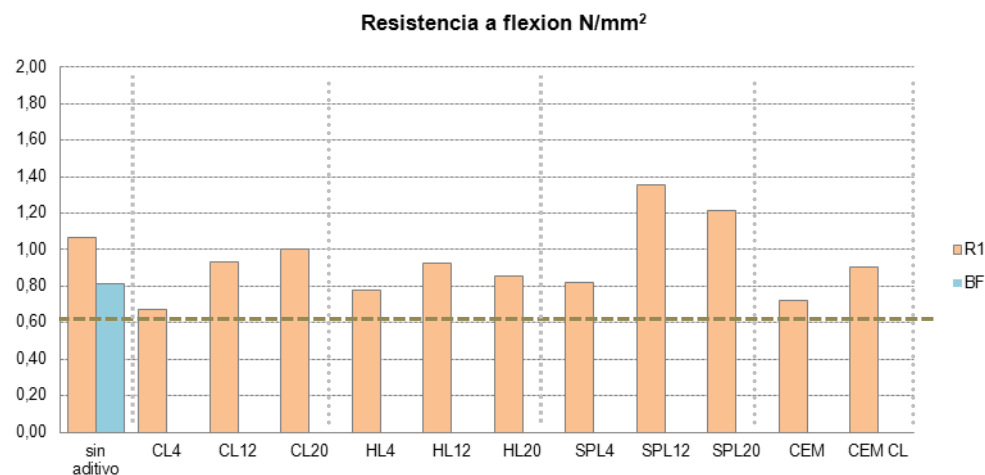


Figura 9.31: R1 y BF: valores medios de resistencia a flexión

La tendencia observada en los casos anteriores vuelve a mostrarse con estas arcillas, de forma que, con las dosificaciones medias (12%) de cales, es con las que se consiguen los resultados más favorables. La adición de cal a CEM mejora considerablemente el valor de la resistencia.

En definitiva, tras la realización de este ensayo se detectan diversas cuestiones muy interesantes de incorporar al estudio y caracterización de estos revocos:

- Por un lado se detecta claramente la influencia del tipo de arcilla en los valores resistentes
- Las adiciones tienen un efecto neto en estos valores, en algunos casos mejoran el comportamiento pero en otros es discutible las ventajas que pueden ocasionar. Con los valores obtenidos se definen los porcentajes adecuados en cada caso.
- La observación recurrente en la bibliografía con respecto a las adiciones óptimas de cal para estabilizar los elementos constructivos de tierra cruda se puede extrapolar a los revocos lo cual indica que la interacción tierra-cal es relevante para la definición de la resistencia mecánica.

- Análisis de resultados de resistencia a compresión

Los datos obtenidos para la resistencia a compresión están comprendidos en el rango de valores mínimos de referencia según designación del CTE para morteros de interior, que son entre 0.4 y 2.5 N/mm². En la figura 9.32 se muestran los valores resultantes tras la realización del ensayo y se muestran mediante líneas horizontales los valores de referencia mínimos referidos previamente.

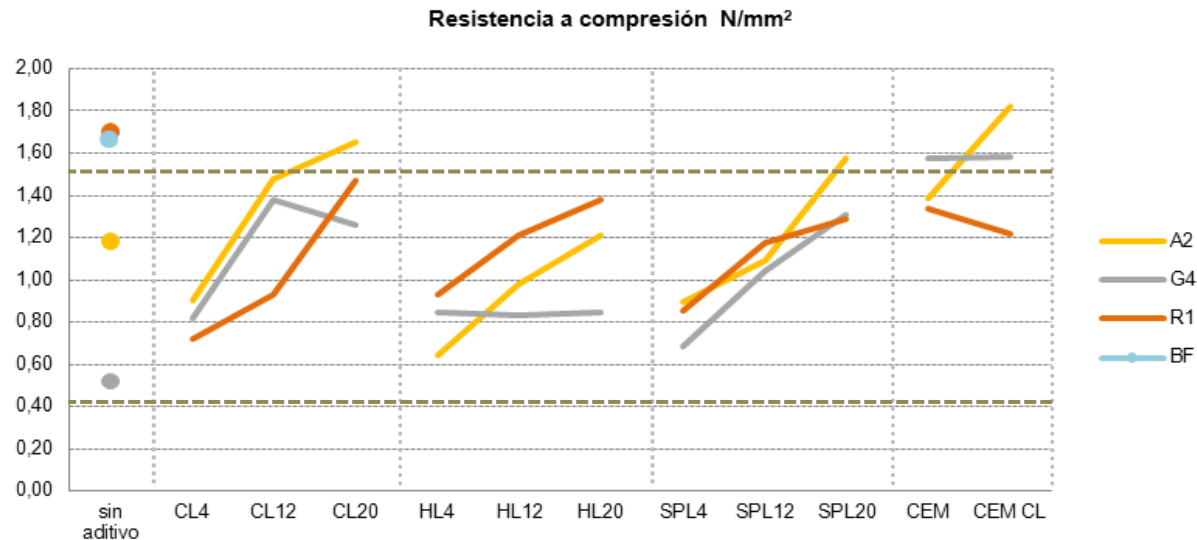


Figura 9.32: Valores medios de resistencia a compresión para todas las dosificaciones

Es interesante destacar que los morteros sin aditivo presentan valores de resistencia muy diferentes, con variaciones importantes entre sí, hasta el punto de que, cada uno de ellos, estarían en diferentes categorías de designación con respecto a su resistencia. No es posible establecer con qué tipo de arcilla se conseguirían los mejores resultados puesto que, dependiendo de las dosificaciones los valores máximos corresponden con un tipo u otro. Todos los valores obtenidos se encuentran comprendidos entre los mínimos indicados, es destacable que, para algunas dosificaciones. Sería posible modificar la designación del mortero en el caso de A2 en las dosificaciones CL20, SPL20 y CEMCL y para los morteros G4 en las dosificaciones CEM y CEMCL.

En las dosificaciones con cal, se produce un aumento proporcional de la resistencia correspondiente al aumento del porcentaje de aditivo en los morteros A2 y R1, sin embargo, en los G4 los comportamientos reflejados son más singulares y se verán a continuación.

Con respecto al aditivo CEM, incluso al incorporar cal, hay que indicar que no es posible establecer pautas vinculadas al aditivo como se refleja en la figura.

A continuación se verá para cada tipo de arcilla cómo influyen los diferentes aditivos y sus dosificaciones (Figuras 9.33 a 9.35)

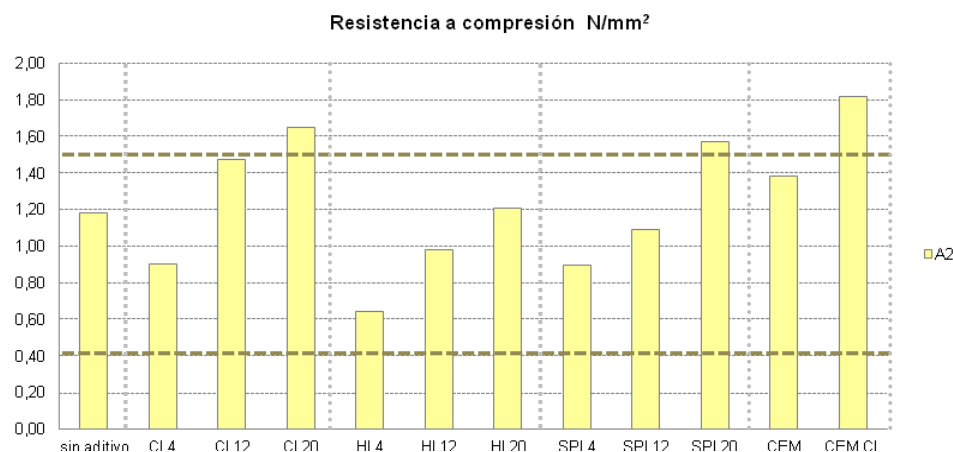


Figura 9.33: A2: valores medios de resistencia a compresión

En el caso de los morteros A2, figura 9.33, la incorporación de aditivos aumenta la resistencia a compresión en la mitad de las dosificaciones y la mayoría de estos valores son superiores a los datos de referencia.

Se observa, en todas las dosificaciones, que el aumento de la resistencia a compresión ocurre secuencialmente, conforme va aumentando la proporción de aditivo.

En el caso CEM y CEMCL también se detecta este comportamiento al incorporar la cal. Es destacable que el aditivo que proporciona los resultados más favorables es la cal aérea, tanto en CL como en SPL.

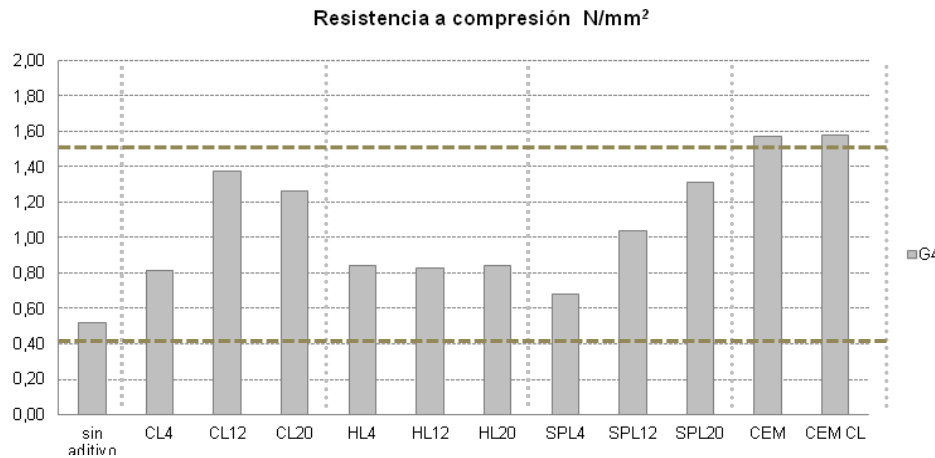


Figura 9.34: G4: valores medios de resistencia a compresión

En la figura 9.34, se muestran los resultados obtenidos con los morteros G4, en los todas las dosificaciones de aditivo producen un aumento de la resistencia a compresión.

En todos los casos estudiados los valores de resistencia superan el valor mínimo de referencia.

En este mortero es importante destacar el comportamiento diferencial cuando se incorporan cales aéreas o aditivos hidráulicos.

Con las cales aéreas las diferentes proporciones de aditivo modifican los valores de la resistencia, mientras que con los aditivos hidráulicos estos valores no se modifican y resultan independientes de la proporción añadida. Por lo que el efecto hidráulico produce un aumento de la resistencia máxima a partir de la cual no es posible mejorar esta característica del producto incluso combinado con otros aditivos, como se detecta en CEMCL.

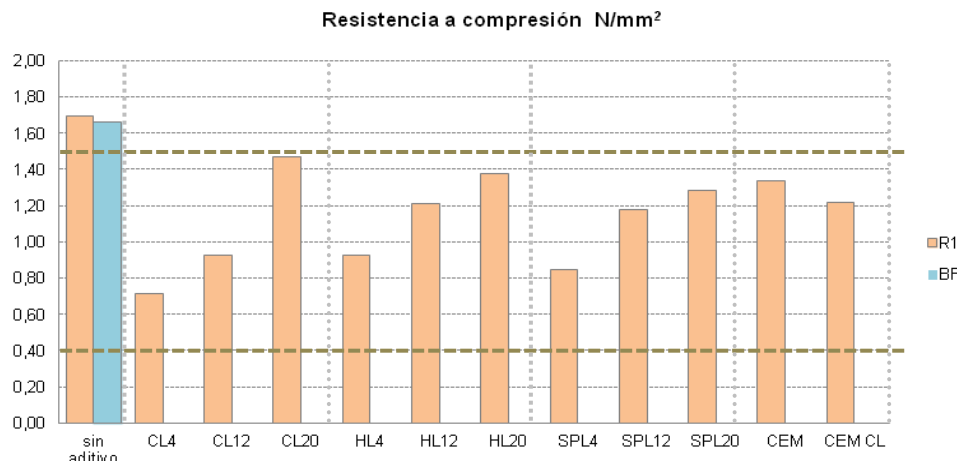


Figura 9.35: R1: valores medios de resistencia a compresión

En el análisis correspondiente a los morteros R1, figura 9.35, hay que destacar como dato muy relevante, el valor de resistencia que presenta el mortero sin aditivo. Por otra parte, ningún aditivo es suficiente como para aumentar la capacidad resistente a compresión. Quizás lo más singular sea la relación directa entre el aumento del porcentaje de aditivo y la resistencia obtenida en todas las dosificaciones. Sólo habría que matizar esta circunstancia en el caso del CEM ya que la resistencia es ligeramente inferior cuando se adiciona CL.

Como aspectos más destacables de este análisis indicar que, al igual que en otros ensayos, es muy evidente el comportamiento diferencial con respecto al tipo de arcilla empleado. Por otra parte no se puede afirmar que el empleo de aditivo ocasione un aumento neto de la capacidad de resistencia, respecto a esta cuestión se debe señalar la necesidad de prescribir exactamente el tipo y dosificación de aditivo, pues, como se ha comprobado, los efectos son muy divergentes.

En este ensayo se ha detectado que el tipo de aditivo, en cuanto a su proceso de fraguado y endurecimiento, afecta de manera considerable a la capacidad mecánica de resistir tensiones a compresión y no siempre en términos positivos.

- COMPORTAMIENTO EN SERVICIO

9.2.3.6.- ADHERENCIA AL SOPORTE

La prueba de resistencia a la adhesión se ha realizado siguiendo la norma de referencia norma UNE-EN 1015-12: 2000³, en la se establece que las muestras de mortero para ensayar se pueden aplicar sobre soportes diversos. Como se ha indicado en el apartado **XX** del capítulo de Experimentación en esta investigación se ha decidido de realizar el ensayo sobre adobes, piedra calcarenita, ladrillos cerámicos, baldosas de mortero de cemento y elementos verticales de paneles de yeso laminado con acabado gotelé. De esta forma se puede obtener un espectro muy amplio y diverso de la respuesta de los revocos de arcilla en diversas circunstancias, como se muestra a continuación.

En este análisis de resultados, se pretende evaluar la influencia del soporte sobre la tensión máxima de adherencia, por otra parte también se busca identificar los comportamientos diferenciales en función del tipo de arcilla. En cuanto al grado de influencia del tipo y dosificación de aditivo, como no se han ensayado todas las dosificaciones, el análisis será menos determinante pues se ha optado por las dosificaciones más resistentes desde el punto de vista mecánico y no se han cubierto todas las posibilidades intermedias.

En las figuras 9.36 a 9.39 se representan los valores obtenidos para cada muestra y soporte ensayado (tanto en horizontal como vertical), singularizando en el eje de ordenadas los morteros sin aditivo que se han aplicado sin fijador.

³ UNE-EN 1015-12: 2000 Métodos de ensayo de los morteros de albañilería. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros para revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes

El valor de referencia seleccionado, y que se justifican en la Tabla 7.22 del capítulo de Procedimientos de caracterización, es de 0.10 N/mm² este dato se refleja en las gráficas como una línea horizontal en todas ellas.

- Muestras sobre soportes horizontales

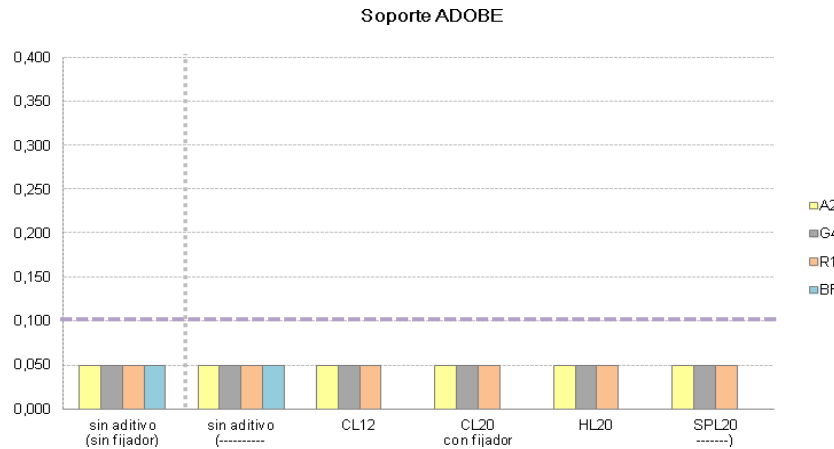


Figura 9.36: ADOBE: valores medios de resistencia a la adhesión N/mm²

Como puede comprobarse en la figura 9.36, los valores de adherencia obtenidos en el soporte adobe son muy homogéneos y la aplicación del fijador no aporta ventajas con respecto al aumento de esta magnitud.

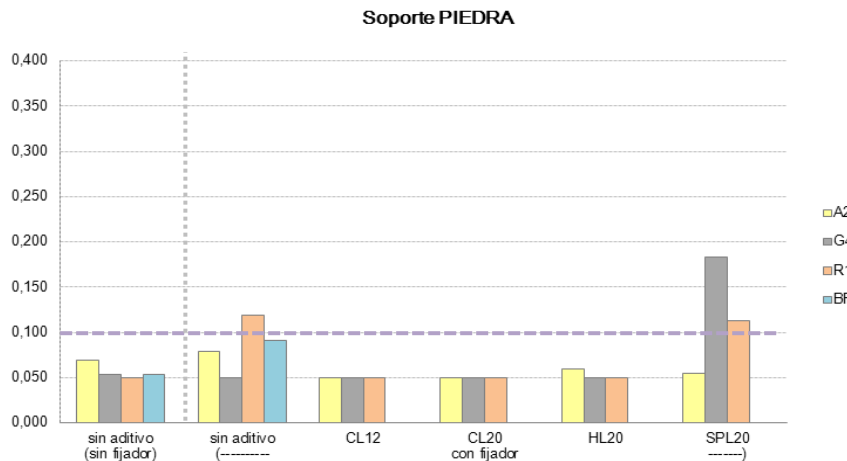


Figura 9.37: PIEDRA CALCARENITA: valores medios de resistencia a la adhesión N/mm²

En la figura 9.37, se muestran los valores correspondientes al soporte piedra. En este caso, el ensayo ha sido fallido para la mitad de las muestras de R1. La diferencia entre los valores obtenidos para los morteros sin aditivos utilizando como base fijador es positiva, en el sentido de que esta fase intermedia proporciona un aumento de la adherencia, aunque no para todas las arcillas.

De todas las dosificaciones ensayadas, sólo SPL20 para G4 y R1 proporcionan valores que permitirían garantizar la estabilidad de este acabado.

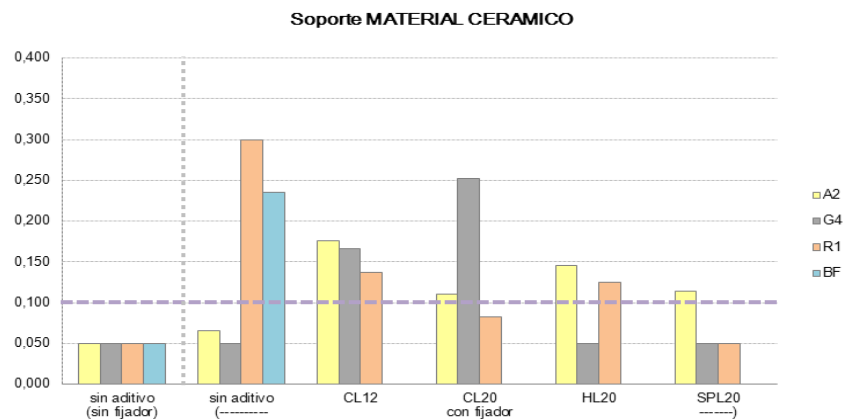


Figura 9.38: ADOBE: valores medios de resistencia a la adhesión N/mm^2

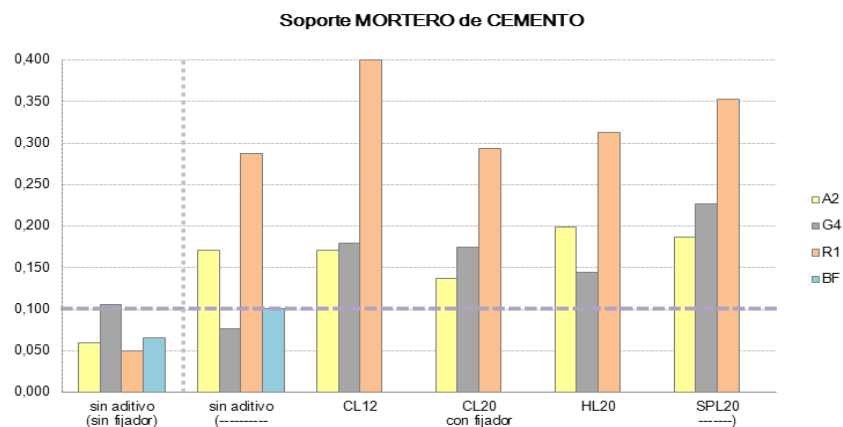


Figura 9.39: PIEDRA CALCARENITA: valores medios de resistencia a la adhesión N/mm^2

En la figura 9.38, puede verse claramente cómo, sobre material cerámico, el efecto del fijador es muy positivo proporcionando valores de adherencia más que suficientes para garantizar el acabado correcto. Sin embargo, hay varias dosificaciones que no han podido adherirse correctamente a este soporte.

El caso reflejado en la figura 9.39, muestra claramente que el soporte de cemento es el más adecuado para la adhesión de estos productos.

El efecto del producto fijador es netamente positivo y se obtienen unos valores significativamente elevados.

- Muestras sobre soportes verticales

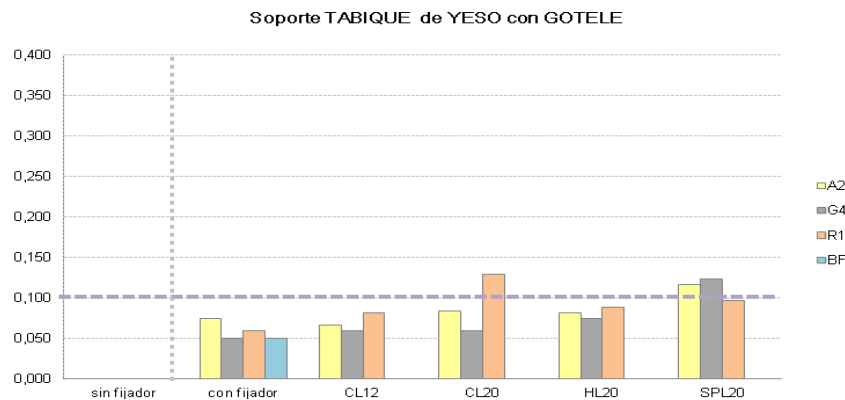


Figura 9.40: TABIQUE YESO LAMINADO CON GOTELE
valores medios de resistencia a la adhesión N/mm²

En este caso, figura 9.40, sobre soporte de tabique de yeso laminado con acabado de gotelé con fijador, lo importante es que todas las dosificaciones muestran una cierta adherencia.

Es destacable la adecuación del mortero R1 en su dosificación CL20 y de los morteros A2 y G4 en la dosificación SPL20.

En general, para los morteros de arcilla la adición de cal aérea mejora la adherencia en todos los soportes, y destacan los valores obtenidos con la dosificación CL20 y SPL para todos los tipos de morteros. En todas las dosificaciones empleadas los valores más elevados se muestran en CL y bajan su valor de adherencia con HL. Aún así, el mortero que muestra mayor compatibilidad con la mayoría de los soportes es G4 y en los morteros A2 y R1, las capas superficiales del revoco sufren una marcada retracción que cuestiona el porcentaje de adición de agua en las dosificaciones del 20%.

El análisis de los resultados obtenidos permite cuestionar si el producto fijador cumple la función de capa adherente, lo que refleja que habría que investigar con otros productos, o uniformar el criterio de uso de lechada de cal, sobre todos los tipos de superficies como vehículo de agarre. Además, el análisis final permite detectar que la influencia del procedimiento de aplicación, incide directamente en los resultados alcanzados, lo que debería plantearse como condición de observación para la selección de la mano de obra

9.2.3.7.- DURABILIDAD: Resistencia a la intemperie

El ensayo de durabilidad se considera una prueba de verificación de la resistencia al desgaste de los revocos de arcilla expuestos a la intemperie. Por un lado, se ha pretendido evaluar cómo, en diversas circunstancias de temperatura, humedad relativa del aire y efectos de lluvia y viento, se produce deterioro o pérdida de masa en las probetas ensayadas y, por otro, cuantificar el número de probetas capaces de completar el período de la prueba, ya que cada tipo de dosificación está representado por una pieza.

Para el análisis de resultados, se consideran las variaciones de peso que muestra cada probeta desde el inicio hasta la fase final de su supervivencia en el tiempo y la durabilidad de las probetas que completan el ensayo. De esta forma se constata, en una primera aproximación, qué dosificaciones resultan vulnerables o inestables a la exposición exterior y cual otras han sido capaces de permanecer estables frente a cambios de térmicos, de humedad y acción directa del agua de lluvia en todas las estaciones climatológicas del año.

Se pretende evaluar el estado de conservación de cada pieza para analizar la influencia del deterioro o la estabilidad en función del tipo de arcilla y dosificación de aditivo, para todas las dosificaciones y verificar si los resultados son comprables con otros aspectos señalados en ensayos de comportamiento frente al agua y la resistencia mecánica de los morteros.

En la figura 9.41 se representan los valores obtenidos para todas las dosificaciones, según el tipo de mortero, donde se indica el peso inicial de cada probeta al comienzo del ensayo y el resultado final, cuando aún es posible pesar la pieza, considerando el buen estado de estabilidad para ello. Por lo tanto, el valor final expresado corresponde con el periodo de tiempo en que la probeta puede ser pesada y puede ser diferente en cada dosificación.

Por el contrario, en la figura 9.42, se muestran sólo las dosificaciones que se han ensayado de forma continua hasta completar los 12 meses de la prueba. Señalar estos valores resulta interesante para demostrar cómo el proceso de deterioro en estas probetas es mínimo y logran resistir a la intemperie marcando una diferencia importante con respecto al resto de dosificaciones.

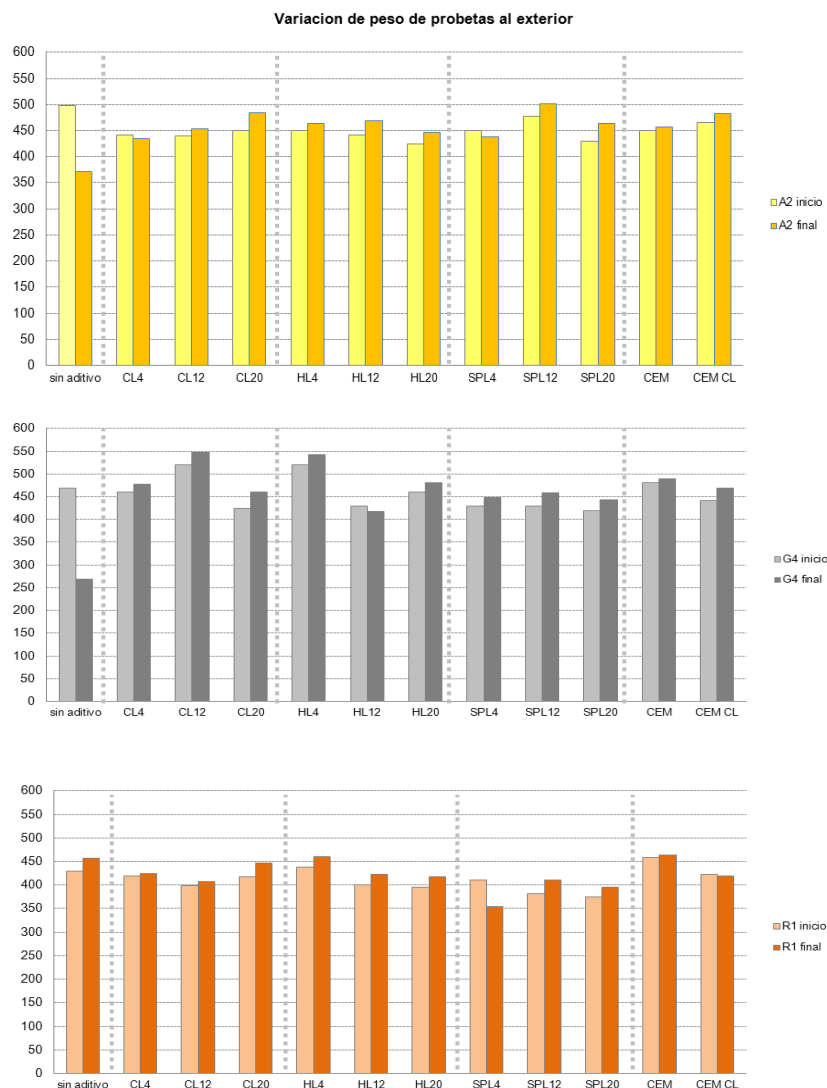


Figura 9.41: Ensayo de durabilidad: evolución de dosificaciones desde el inicio hasta el final

En la figura 9.41, para el caso del mortero A2, se observa que, en la mayoría de las dosificaciones, el peso aumenta en la fase final de su durabilidad. El efecto contrario se produce de forma evidente en el mortero sin aditivo, que destaca por la pérdida pronunciada de peso y de masa; en las dosificaciones con aditivos, CL4 y SPL4 se muestran valores de pérdida de peso ligeramente menores. Se detecta cierta uniformidad en las diferencias de peso para el 75% de las dosificaciones.

Para el mortero G4, puede observarse cómo en casi todas las dosificaciones crece el valor de peso al finalizar la prueba, variando notoriamente el efecto en el mortero sin aditivo, donde la pérdida es significativa, del 55%. En las dosificaciones con aditivos, sólo en HL12 se muestra una leve reducción del peso y el valor crece ligeramente para todas las demás dosificaciones (84%). Se detecta que en CEM el aporte de CL hace más inestable la dosificación.

Como puede comprobarse para el mortero R1, prácticamente todas las dosificaciones ganan peso en el proceso de durabilidad, incluso el mortero sin aditivo, sólo sufre disminución el mortero con aditivo SPL4 y, en menor medida, CEMCL. Al igual que ocurre con el resto de morteros, las diferencias de peso son poco significativas en la mayoría de las dosificaciones.

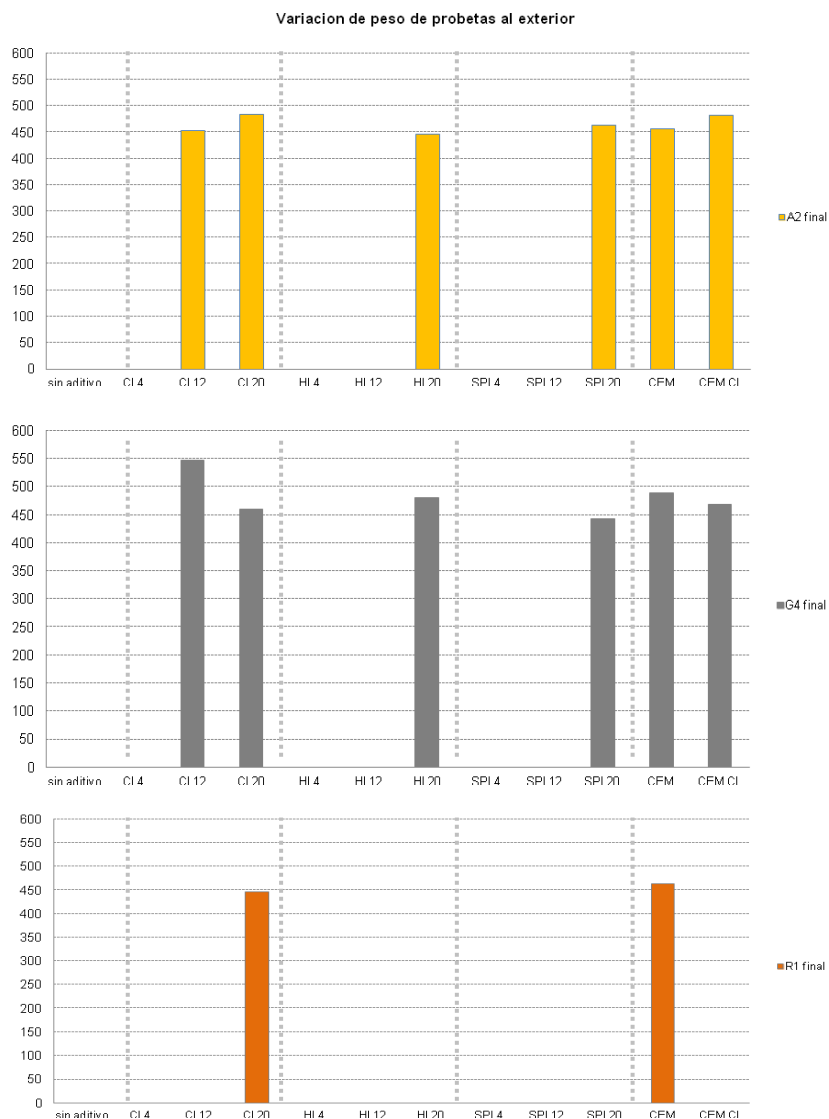


Figura 9.42: Ensayo de durabilidad: dosificaciones que completan la prueba durante 12 meses

En la figura 9.42, se muestran las dosificaciones A2 que completan todo el ciclo del ensayo de durabilidad de 12 meses. Se destaca que los valores de resistencia final se obtienen para las dosificaciones con adiciones de valor medio (12%) y alto (20%) para CL, y las más elevadas de HL y SPL. Para las dosificaciones CEM y CEMCL se presenta la misma circunstancia.

El porcentaje de dosificaciones que se mantienen completamente estables hasta el final de la prueba es del 50%.

En el caso de los morteros G4, se observa que el comportamiento de las dosificaciones de mayor contenido de aditivo CL, en los valores del 12% y 20%, , HL y SPL en la dosificación del 20%, son muy estables frente al desgaste y presentan una resistencia óptima aún finalizada la prueba.

El porcentaje de dosificaciones que se mantienen hasta el final de la prueba es del 50%.

Por último para el mortero R1, la mayoría de las dosificaciones no completan la fase final del ensayo. Solamente 2 de las 12 dosificaciones se muestran resistentes y estables CL20 y CEM, es decir el porcentaje de durabilidad se reduce al 16%.

Los aspectos más significativos de esta prueba permiten demostrar que, después de cumplido el período de 12 meses se mantienen el 38% de las 37 probetas ensayadas. En ellas predomina las dosificaciones de mayor contenido de cales y todas las de CEM y CEMCL. Con el análisis de los resultados, en general, el 16% de las dosificaciones presentan pérdidas de peso durante el tiempo de realización del ensayo, el resto aumenta el valor de peso pero regulándose de forma continua, tanto frente a los cambios térmicos como las variables de HR (todos los datos del seguimiento periódico se adjuntan en el documento ANEXO).

El 62% del total de probetas ensayadas de los tres tipos de mortero terminan destruyéndose (por disgregación parcial o total y pérdida total de masa) en los primeros cuatro meses y, de forma significativa, sólo R1 muestra algunas piezas con más resistencia que prolongan su durabilidad hasta los 7 meses de duración del ensayo.

Las probetas de las dosificaciones sin aditivo A2, G4, y R1 se pierden fundamentalmente por efecto de lluvias copiosas en pocas horas, se produce una disgregación masiva y lavado integral de la probeta. El incremento de peso durante este periodo se debe al aumento de HR en el ambiente por las semanas de lluvias en periodo otoñal. De la misma forma se pierden todas las probetas, para los tres tipos de morteros con aditivos, dosificadas con el menor porcentaje de cal hidráulica, HL4, apenas transcurridos los 14 días de exposición. Los dos primeros meses desaparecen todas las piezas de dosificaciones bajas (4%) de CL y SPL y después de los 4 meses la mayoría de las dosificaciones 12% para todas las cales, solo se mantiene estable CL12 para los morteros A2 y G4.

En definitiva, se puede afirmar que esta prueba evidencia la posibilidad de que algunas dosificaciones de morteros de arcilla con cales CL y HL, muestren estabilidad y resistencia al desgaste expuestas a la intemperie, podrían servir para formular morteros de arcilla con aditivos para uso en el exterior. Esta línea de trabajo deberá contrastarse con otros valores obtenidos en esta investigación y con ensayos en atmósferas controladas de temperatura y humedad para definir adecuadamente el plan de ensayos al exterior.

9.2.3.8.- COLORIMETRÍA

El ensayo de color resulta relevante para los morteros de arcilla, como revestimiento de pigmentación natural, ya que una de sus principales funciones es la decorativa. La medición del color del revoco suele ser un parámetro que condiciona la elección del producto para soluciones estéticas constructivas. El hecho de que se le agreguen aditivos al mortero predosificado, en este trabajo de investigación, exige evaluar las consecuencias que esto provoca en la definición última del producto. Es necesario medir o cuantificar de qué manera la cal produce cambios en las tonalidades, ya que son evidentes a simple vista. La variación de los tonos de color del mortero sin aditivo, además, resulta condicionante para la elección no sólo del aditivo sino de la proporción que se agrega al mortero, ya que se interviene en el proceso de aclarado u oscurecimiento del revoco.

En la figura 9.43, se marca la evolución de los espacios de color L^* , a^* , b^* para todas las dosificaciones ensayadas, y muestra las variaciones de valor desde las líneas horizontales que señalan la ordenada de los morteros sin aditivos:

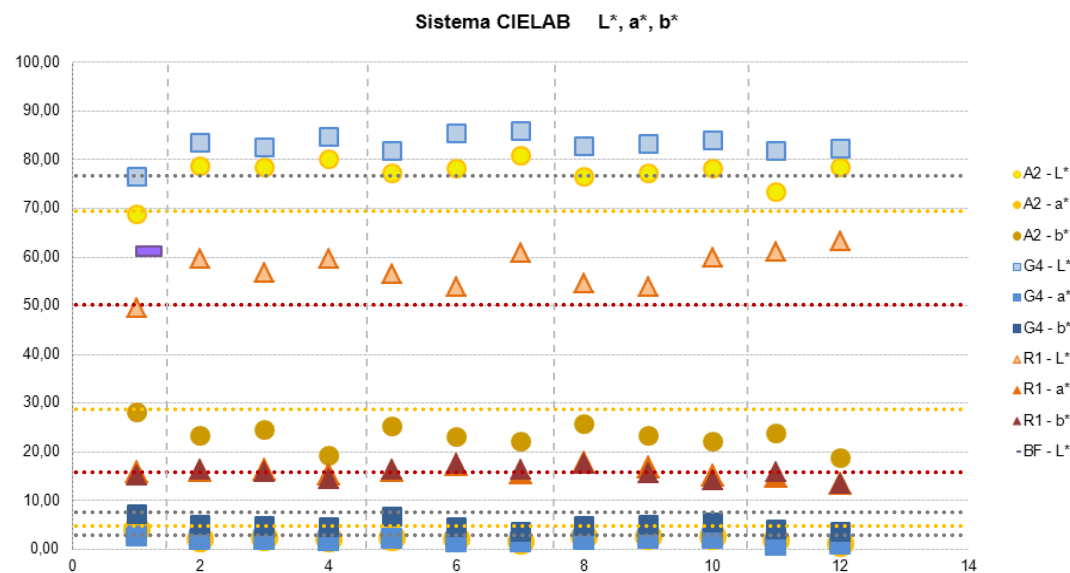


Figura 9.43: Valores de espacios de color para las diferentes dosificaciones

La valoración que detecta el colorímetro utilizado, con sistema de medición CIELAB, marca la evolución de los espacios de color L^* , a^* , b^* y se puede analizar si el proceso de carbonatación en los morteros con aditivos de cales influye en la variación del color y si importa la cantidad de aditivo o depende del tipo de arcilla del revoco.

El resultado de la gráfica permite destacar que todos los morteros sin aditivos ganan luminosidad o se aclaran con la adición de cales e incluso cemento. Si el análisis se hace sobre los espacios de color que varían las tonalidades, los tres tipos de morteros sin aditivo modifican su color tendiendo a bajar de valor los espacios a^* (rojizo a verdoso) y b^* (amarillento a azulado). Es decir, la influencia de los aditivos si muestra una modificación en el tono final. En el caso de los morteros R1 y G4, son pequeñas tanto en sentido a^* como en b^* se mantienen casi para todas las dosificaciones de aditivos valores cercanos al del mortero sin aditivo; pero para los morteros A2, en el sentido a^* no hay variación significativa y sin embargo en el eje b^* , la influencia de los aditivos le hace modificar la tonalidad amarillenta tendiendo a reducir los azules de forma gradual, cuanto mayor es el porcentaje de cales en la dosificación menor es el valor de b^* . Incluso con la dosificación CEM, al adicionar CL el efecto es similar y mucho más evidente.

Por lo tanto, se evidencia una clara influencia de los aditivos en la modificación de las características de color evaluadas, principalmente por la luminosidad que gana el revoco al endurecer. Esta cuestión es muy interesante en la puesta en servicio de estos productos pues podría modificarse el aspecto de un paño simplemente con reparaciones poco estudiadas.

A continuación, en la figura 9.44, se analiza cómo se comporta cada tipo de arcilla para definir la luminosidad L^* del color de la muestra, y si los diferentes aditivos y sus dosificaciones influyen en la tonalidad final (espacios a^* y b^*), teniendo en cuenta los parámetros de orientación del color en ambos ejes.

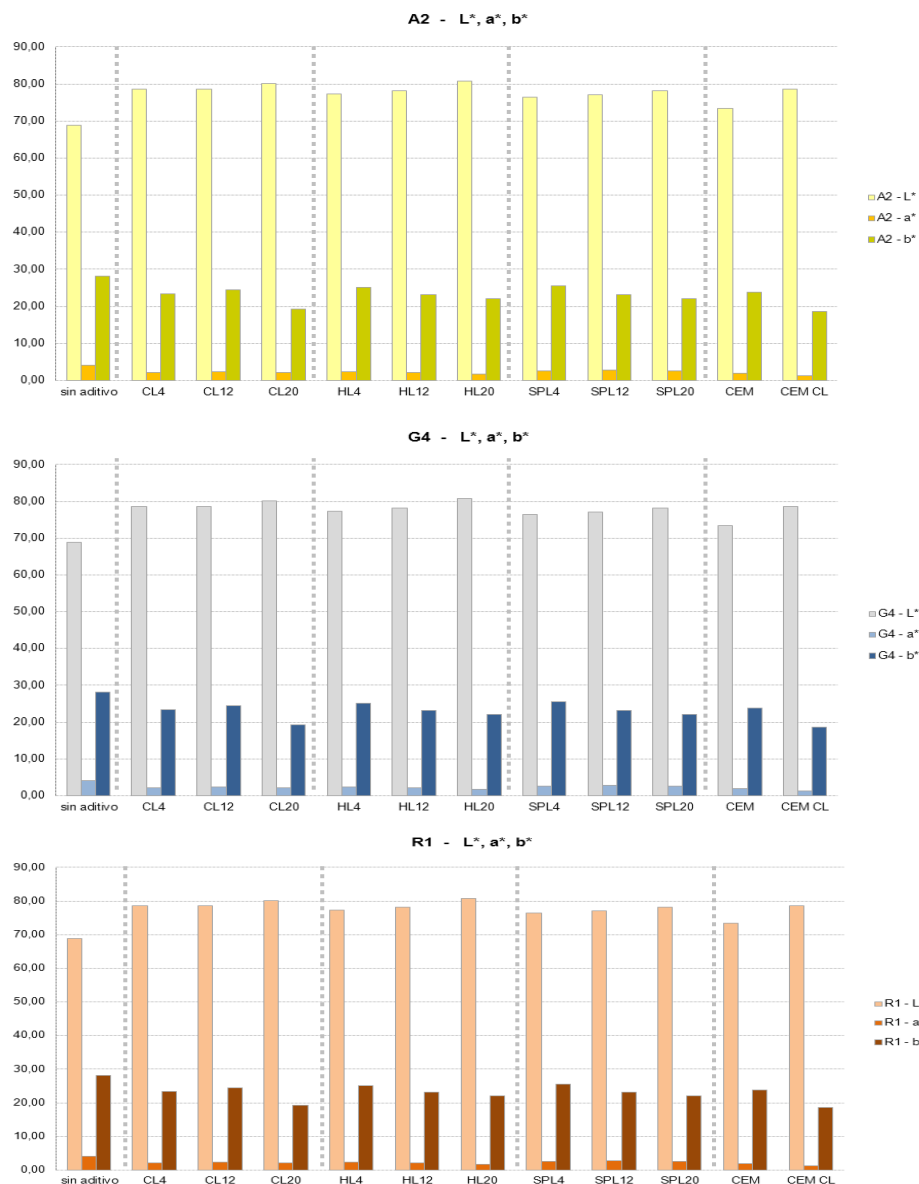


Figura 9.44: Ensayo de colorimetría para las 37 dosificaciones

En los morteros A2, todas las dosificaciones ganan luminosidad con respecto al mortero sin aditivo. Es evidente como crece el valor en relación al contenido de aditivo para todas las cales. Incluso aumenta con CEM y con CEMCL llega a valores similares a las dosificaciones 12% y 20% de los tres tipos de cales. En a^* , todas las dosificaciones, son menores que para A2 sin aditivo y, en b^* , el aumento del porcentaje de cal reduce el valor en todas.

En el caso de G4, todas las dosificaciones aumentan la luminosidad cuanto más porcentaje de cal tiene la dosificación con respecto al mortero sin aditivo, y el oscurecimiento grisáceo que presenta las que contienen CEM se presenta por los valores de b^* que son similares a las bajas dosificaciones de cales. Sólo es menor en CL20 y CEMCL. En el sentido a^* todas las dosificaciones muestran menor valor que G4 sin aditivo.

Con R1, se repite el efecto en cuanto a luminosidad que para todos los morteros. Todas las mezclas con aditivos se aclaran con respecto al mortero sin aditivo. En a^* , todas las dosificaciones, son menores que para R1 sin aditivo y, en b^* , el aumento del porcentaje de cal reduce el valor en todas.

Todos los morteros presentan pautas de comportamiento similares.

10 – CONCLUSIONES.

TRANSFERENCIA A LA SOCIEDAD Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

10.1.- CONCLUSIONES DE CARÁCTER GENERAL

El proceso de desarrollo de la fase experimental de este trabajo de investigación ha permitido, después de un largo trayecto, obtener datos para la caracterización de los morteros de arcilla utilizados y su respuesta a la adición de cales, con una amplia estructura de datos. Las conclusiones finales se enmarcan en la diferenciación de los aspectos generales del producto y las cuestiones relevantes a destacar como resultado de la fase de experimentación.

Así pues, uno de los objetivos principales de este trabajo consistía en caracterizar los morteros de arcilla preparados sin y con aditivos, evaluar su respuesta frente al agua, comportamiento mecánico y aptitudes de servicio como revestimiento y, en definitiva, a partir de estas pautas iniciales lograr establecer nuevas cuestiones para continuar con el proceso de estudio e investigación de estos productos y generar futuras líneas de investigación.

Las conclusiones que destacan aspectos generales se describen en los siguientes apartados:

- Relativas a la competencia del producto y su proceso de elaboración y aplicación

-En España debería empezar a establecerse un orden de cuestiones que reglamenten el uso de la tierra cruda como material en la construcción. Desde los grupos de investigación esto debe ser una línea de trabajo para ayudar a establecer una base científica como protocolo de actuación y aplicación de criterios técnicos. Es necesario establecer pautas concretas de difusión y transmitir mediante la formación las opciones del producto.

- Los productos para revocos de arcilla predosificados deben tener el respaldo del control, especificaciones verificadas y condiciones de uso, aplicación y mantenimiento preestablecidas desde el proceso de fabricación hasta su puesta en obra con el objeto de reducir pruebas en obra.

-Se debe aconsejar al fabricante que defina no solo una tabla de componentes, sino también las proporciones establecidas para la adición de estabilizantes según el producto. Es importante contar con la curva granulométrica de los áridos y demás componentes del producto.

-De esta manera resulta ventajoso que los morteros con aditivos de cales se puedan mezclar directamente en obra, en proporciones controladas y previamente establecidas, al ser incorporados a la masa de mortero antes de su utilización y aplicación. Este trabajo aporta numerosos datos y evidencias que posibilitan ampliar líneas de investigación para poder establecer una tabla de dosificaciones adecuadas según tipo de arcillas y aditivos para determinados usos y/o soportes, a modo de ficha técnica que exponga las posibilidades de estabilización del producto.

-Es fundamental la preparación de la mano de obra, la habilidad y capacidad en el manejo de las herramientas de trabajo para la colocación del revoco, significa controlar métodos de aplicación y ejecución adecuada sobre todo en cuanto a la dirección de colocación y los grosores de las distintas capas de revoco. Estas cuestiones están directamente relacionadas con el resultado final del revestimiento, su estética, calidad de acabado y, además, con su durabilidad y conservación.

- Relativas a la aplicación del producto, formación y divulgación

-Se debe enfatizar la ventaja de contar con un producto predosificado, con resultados contrastados y con garantía por parte del fabricante de la calidad de la materia prima, dosificaciones de los compuestos, recomendaciones sobre métodos de aplicación y resultados según las condiciones de aplicación, exposición y mantenimiento. Aún es válida la frase “queda el desafío de continuar formando la conciencia de que, en materia de tierra cruda, lo improvisado tiene un solo fin: la irreversible degradación del bien” (*Chiappero, 2003*)

-El hecho de disponer de cantidades de material en volumen de poco rango (menores a 50 kg) por cada amasada, la conservación de la masa de mortero sin aditivos, en recipientes no porosos y opacos con tapa, permite su utilización durante unos siete días. Se constata que si las condiciones de almacenamiento o acopio del mortero garantizan un resguardo óptimo, el producto mejora sus características, y sólo necesita un mínimo aporte de agua y un amasado extra justo antes de su aplicación. Este aspecto, además, permitir establecer una instrucción para la recepción del material en obra como existe para el resto de productos que se utilizan en edificación.

-Se deben plantear protocolos convalidados con los que ya existen en el resto de países de Europa, para el control, la previsión y formulación de la organización de obra en la aplicación de este tipo de productos. Estos protocolos deben centrarse en el estudio previo del entorno, las características de las superficies a revestir y condiciones del contexto técnico que permite tener una base certera de correcta aplicación de un revoco de arcilla. El técnico responsable de la obra debe examinar el contexto en el que están ubicados los muros que se revisten con el fin de prever las líneas de trabajo para obtener un resultado correcto y evaluar el alcance de la obra.

10.2.- CONCLUSIONES DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Las conclusiones específicas de la fase experimental de este trabajo de investigación incluyen criterios de observación fundamentales para la caracterización de los morteros de arcilla con y sin aditivos; por lo tanto, en los siguientes apartados se desarrollan los aspectos que se consideran relevantes a tener en cuenta:

10.2.1.- Criterios para la modificación o propuesta de prescripciones.

- Las pruebas de campo, aunque no son relevantes para los morteros preparados, se pueden aplicar como orientación sólo en casos de constatación de procedimientos de prueba. Como no permiten precisar datos cuantitativos, sólo se demuestra que el porcentaje de agua de amasado que indica el fabricante no puede ser el mismo para los tres tipos de morteros ensayados porque se obtienen diferentes plasticidades. Cuando se añaden los aditivos las diferencias se hacen mayores.

-En todos los casos, el tiempo de trabajabilidad del mortero se mide a partir del momento en que se ha terminado de amasar la mezcla ya que, a partir de ese momento se considera que debe usarse el material porque comienza el proceso de endurecimiento o secado. Este procedimiento no es de aplicación para los morteros de arcillas sin aditivos ya que es conveniente humedecer el mortero como mínimo 3 horas antes de su utilización en obra, siendo aún mejor y recomendable dejarlo unas 24 horas previas a su uso. De esta manera, se mejoran las características de la mezcla y la trabajabilidad del producto que, si se conserva en buenas condiciones debidamente tapado y protegido en recipientes poco porosos y opacos, simplemente necesita un batido previo a su aplicación. Si fuera necesario, agregar un poco más de agua de amasado, no hará variar el porcentaje final.

-Es necesario generar recomendaciones o prescripciones sobre los valores de escurrimiento de la mezcla de mortero humedecida más que indicar el porcentaje de agua a añadir. Se constata que el aumento de porcentaje de agua no modifica el valor de escurrimiento de la mezcla sino que está relacionado con el tipo de aditivo, al menos en las dosificaciones estudiadas. Hay que destacar, además, que los valores de escurrimiento resultan ser inferiores a los que se prescriben para otros tipos de morteros, que aunque se utilizan como referencia permiten afirmar que hay que establecer rangos de valores específicos para revocos de tierra, como los hay para morteros de cemento y de cal.

- El procedimiento de ensayo de referencia realizado para establecer la estabilidad dimensional de los morteros de arcilla no permite la medición adecuada de las probetas. Se propone modificar los periodos de control de curado de las muestras, establecer para ello una nueva tabla de tiempos para estos productos donde se estime el método de seguimiento para el desmolde y medición en horizontal.

-En el ensayo de absorción capilar es fundamental proponer variaciones al procedimiento de referencia. Para este tipo de morteros es imprescindible contar con una base soporte, que aunque empapada en agua, permita evaluar la acción de la succión de humedad asemejando el método lo más posible al contacto real que tiene el revoco con la base soporte de un muro. Por lo tanto, se propone utilizar material textil empapado en agua como base de apoyo de las probetas y que la duración del ensayo se prolongue hasta conseguir un peso constante.

-Es conveniente, para el ensayo de permeabilidad al vapor de agua, establecer modificaciones en el procedimiento experimental de la norma UNE correspondiente, que reflejen mejor el comportamiento real de los morteros de arcilla. El ensayo debería prolongarse en ciclos de medición hasta que las muestras presenten peso constante por saturación de vapor de agua o, en el caso más desfavorable, que sufran cualquier tipo de deterioro evidente o se destruyan. Sería importante diseñar un método de ensayo en que se comprobara la capacidad del producto de reaccionar ante entornos cambiantes de temperatura y HR.

-Con los valores obtenidos y, teniendo en cuenta que la respuesta de los morteros debe ser compatible a la base soporte que reviste y adecuarse al grado de impermeabilidad estimado para los muros, se puede afirmar que se podría buscar una designación complementaria para los resultados de resistencia a la compresión como la relación que existe entre designación con la nomenclatura M1.5 M2.5 o M5 de los morteros de cemento de norma UNE-EN 196-1: 2005. Según las especificaciones de la clasificación de los morteros de arcilla por su función (interior o exterior) o por los componentes de la dosificación como pasa con los morteros de cemento. Este criterio puede permitir establecer denominaciones como producto de construcción que puede ser clasificado de forma más controlada y generar líneas de investigación comparando varias marcas comerciales de morteros de arcilla para definir un mercado específico.

10.2.2.- Relativas a la caracterización del mortero de arcilla.

- Se debe plantear un protocolo específico, y en parte uno de los objetivos de esta investigación consiste en ofrecer datos, para morteros de arcilla con las variantes mencionadas en análisis de resultados, donde se establezcan los criterios de trabajo y uso de este tipo de productos (elaboración de muestras, preparación del soporte, sistemas de colocación de los revestimientos y pasos fundamentales a seguir, en general y en particular, para la aplicación y mantenimiento de estos revocos).
- El porcentaje de agua de los morteros sin aditivos parece adecuado aunque podría aumentarse entre un 1 o 2 % más, según las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire en las que se ejecute el revestimiento. En el caso de los morteros de arcilla con aditivos, el porcentaje de contenido de agua debe ajustarse al valor de la consistencia resultante para cada tipo de dosificación. Se corre el riesgo de que no esté especificado y pueda influir en la modificación de la trabajabilidad del mortero en obra, ya sea por falta de control y se incorpore agua en exceso o se aplique el método de la aproximación proporcional al volumen de mortero empleado.
- De los tres morteros de arcilla preparados seleccionados para la fase experimental, los morteros denominados A2 (arcillas amarillas) y G4 (arcillas grises) se vuelven más plásticos y fácilmente trabajables con porcentajes de agua prescritos por el fabricante, solo aumenta la cantidad de aporte de agua al incorporar las cales. En el caso del mortero R1 (arcillas rojizas), sucede lo contrario, hay cierta resistencia a la plasticidad, se vuelve difícil de amasar ya que la masa se torna pegajosa aunque al aplicar el mortero no dificulta el arrastre con la llana. Por eso resulta muy importante, establecer desde las definiciones técnicas del producto, las diferencias en contenido de porcentaje de agua que pueden evidenciarse según el tipo de arcilla que contengan los morteros, criterio válido no solo para morteros de arcilla preparados sino también en la dosificación de morteros in situ.
- Para establecer mejor los resultados de densidad aparente, como todos los valores obtenidos están dentro del rango de referencia no se proponen modificaciones al procedimiento de la norma UNE. Las variables que se presentan según el tipo de aditivo de cal marcan la disminución del valor en mayor proporción con cal aérea (CL). Para analizar la influencia de su aporte en la masa del mortero, se deberían contrastar con un estudio más exhaustivo al tener en cuenta que la densidad de la cal es de 1000 kg/m³ (Sastre et. al., 2010). Este aspecto necesitaría un trabajo multidisciplinar para establecer parámetros específicos de caracterización a escala microscópica, y no solo quedarse en valores generales.

- Los valores de retracción resultantes para los morteros de arcilla son mayores que los de referencia para otro tipo de morteros, en concreto para los considerados por la norma UNE, de cemento y de cal. Con los datos obtenidos se establece una referencia, como propuesta de valor para morteros de arcilla, lo que permite relacionarlo con las condiciones que aplicación del producto para garantizar la adherencia al soporte.

-En cuanto a los valores que se aportan con respecto a absorción capilar, se destaca la importancia de los resultados obtenidos que cuestionan el procedimiento de referencia. Los coeficientes que resultan de aplicar la norma de referencia entran dentro del rango prescrito de valores aceptables pero al prolongar el tiempo de desarrollo del ensayo los valores obtenidos marcan diferencias que deben tenerse en cuenta para cada tipo de mortero y tipo de aditivo.

- En la determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros de arcilla es conveniente, además de los valores obtenidos dentro de los rangos de referencia, establecer la simetría de transferencia de las presiones de vapor de agua, ascendentes y descendentes. Se necesita justificar con argumentos fundamentados y valores específicos la propiedad que tienen estos productos de estar en equilibrio constante con el medio ambiente. Las dosificaciones sin aditivos no marcan ninguna pauta común y sólo algunas dosificaciones con aditivos muestran equilibrio en ese intercambio (A2CEM, G4HL4 y R1CL4), lo que representan valores aleatorios. Los aditivos en general disminuyen la diferencia de los flujos de intercambio, con respecto a los tres morteros.

- La compacidad de los morteros de arcilla, obtenida con la técnica de medición de la velocidad de transmisión de ultrasonidos, muestra un dato importante para establecer pautas de comportamiento para este tipo de productos, ya que las dosificaciones con aditivos no aportan variables significativas comparadas con los resultados de resistencia mecánica. Los resultados pueden servir de referencia para otros estudios donde se emplea la misma técnica en el desarrollo de resistencias de morteros con áridos reciclados finos; debería tenerse en cuenta la cualidad de producto reciclable que tienen estos morteros.

10.2.3.- Evaluación del efecto de los aditivos en la dosificación.

- La consistencia de las dosificaciones ensayadas depende del tipo de arcilla del mortero y de cal que se adiciona a la masa, y este efecto se define en el ensayo correspondiente y se detecta en la humectación previa a la aplicación de los morteros. Si la amasada contiene cal aérea, aun pasando 24 horas, no varía la consistencia de la masa; en cambio, cuando en la mezcla se dosifica con cal hidráulica, queda más apelmazada y debe humedecerse con mayor porcentaje de agua. Aunque de forma inmediata, el proceso de carbonatación de la propia cal influye en esta reacción, el efecto se traduce en la aplicación del producto en la base soporte. En el caso concreto de las muestras que contienen cal aérea (CL) y cal en pasta (SPL), la preparación de la amasada con 3 horas de antelación a su aplicación y el hecho de comenzar la reacción de las cales humectadas no afecta a la mezcla; todo lo contrario se percibe mejor la trabajabilidad en el mortero. Es fundamental, por lo tanto, concretar para cada tipo de arcilla el aditivo recomendable y los porcentajes de agua adecuados.

- En cuanto se combina con aditivos de cales, el proceso recomendable es agregar el aditivo cuidando que el aporte de agua de amasado en la mezcla puede afectar o producir alguna reacción química en el producto, por ejemplo, acelerar el proceso de carbonatación de las cales. En este caso la conservación del mortero humectado debe ser rigurosa, garantizando un grado de humedad relativa superior a 90% y totalmente cubierto para evitar contacto directo con el aire. Para los morteros que se dosifiquen con cementos, la adición del producto debe hacerse unos minutos previos a la utilización de la mezcla, ya que el proceso de fraguado se produce inmediatamente.

- Los valores de retracción lineal son importantes en este tipo de morteros y, según el tipo de arcilla, la combinación con ciertas cales puede mejorar o perjudicar su respuesta a la contracción por secado. El mismo efecto se detecta en el ensayo de estabilidad dimensional, ya que al añadir cal a la dosificación de morteros de arcilla, sin tener controlada la dosificación, puede provocar retracciones importantes en las dosificaciones mayores al 12%, sobre todo en las del 20% con cales hidráulica (HL) y en pasta (SPL) para los morteros A2 y R1, presentando valores menores y mucho más estables para los morteros G4, lo que demuestra la influencia del tipo de arcilla del mortero.

- Para la aplicación de los revocos de arcilla es fundamental tener en cuenta que los morteros con un determinado porcentaje de cal aérea o hidráulica, en concreto con la dosificación del 20%, presentan retracciones importantes y fisuras en el proceso de secado, ya que muestran diferente grado de adherencia al soporte. Destacan como buenos resultados de resistencia a la adhesión los morteros con dosificaciones de cal aérea (CL) y cal en pasta (SPL), para todos los tipos de morteros y todos los soportes estudiados, por el contrario en las dosificaciones con

cale hidráulica (HL) los valores de adherencia son bajos. En estos casos habría que proponer una gama de productos predosificados de morteros preparados con mayor proporción de arena o una granulometría más variada que permitiera dosificar, en obra, la mezcla con un porcentaje preestablecido de cal (CL, HL o SPL) Este producto se diferenciaría del estándar, determinando la adición de un porcentaje de agua controlado y que debe aplicarse en capas finas o con refuerzo de malla textil para evitar el efecto de contracción y rotura.

- La adición de cales o cemento (CEM) a este tipo de morteros no modifica la compacidad del producto sin aditivo, sólo para los morteros G4 se detecta cierta mejora con valores más elevados en las dosificaciones con cal, que a su vez, permiten establecer una correspondencia con los resultados de los ensayos mecánicos donde G4 es el mortero que mejora su resistencia con el aporte de aditivos.

- De forma evidente la adición de cales a los diferentes tipos de morteros no genera comportamientos homogéneos en los resultados de absorción por capilaridad. Es imprescindible especificar una tabla de porcentajes por cada tipo de aditivo que se agrega. Se aportan valores que permiten diferenciar la respuesta de cada una de las cales y su correspondiente dosificación para cada uno de los tres morteros ensayados.

En definitiva la adición de cal en las dosificaciones de los morteros de arcilla permite aportar datos prescriptivos al 80% de los ensayos realizados, lo que define la importancia de seguir investigando en las dosificaciones adecuadas para determinadas funciones y usos, lo que puede llegar a proponer algunos preparados para espacios exteriores. En la prueba de durabilidad al exterior se plantea la posibilidad de que las dosificaciones altas de cal aérea (CL) y cal en pasta (SPL) permitan formular morteros de arcilla con estabilidad frente al desgaste.

10.2.4.- Singularidades destacables

- El tipo de aditivo no modifica de forma clara el valor de escurrimiento, ni este valor se ve afectado por la cantidad que se incorpora de agua, depende del tipo de arcilla del mortero. Se destaca que para los morteros A2 y R1 los valores de escurrimiento son uniformes y similares entre sí, para las dosificaciones sin y con aditivos; sólo aumenta en la dosificación SPL4. En el caso del mortero G4, sí presentan diferencias según el tipo de aditivo, con HL y CEM aumenta mucho el valor de escurrimiento.

- En el caso de los valores de absorción por capilaridad, es importante señalar que para las dosificaciones CEM y CEMCL las probetas son más estables hasta completar el ensayo pero son las muestras que más porcentaje de agua absorben.

-Se debe prescribir el tipo de mortero de arcilla adecuado para cada tipo de aditivo, o dicho de otra forma, qué aditivo es más compatible con un determinado tipo de arcilla para las dosificaciones de morteros estabilizados con cal. Los aditivos de cales aéreas (CL y SPL) mejoran las resistencias mecánicas de los morteros A2 y G4, pero para el mortero R1 sólo se presentan valores altos en las dosificaciones con 20% de cal aunque no superan a la resistencia del mortero sin aditivo. En todos los casos, la cal que aporta mejores valores de resistencia mecánica tanto a flexión como a compresión es SPL.

- La relación entre el tipo de arcilla y tipo de cal es relevante para definir valores de resistencias mecánicas y la dosificación del 12% de aditivo de cal es la proporción más adecuada para obtener resultados óptimos para todos los morteros ensayados. El añadir mayor cantidad de cal no repercute en el aumento de resistencia significativamente.

10.3.- TRANSFERENCIA A LA SOCIEDAD Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo de investigación se suma a otros que procuran desarrollar el conocimiento sobre los productos de construcción en tierra cruda. El estudio en concreto de los morteros de arcilla debe generar nuevas perspectivas de análisis del comportamiento de estos productos para contar con verificaciones científicas de las bondades apprehendidas desde la utilización en la arquitectura tradicional. Se considera que este trabajo es el inicio que permite generar otros estudios para desarrollar y resolver las cuestiones que se plantean con los resultados obtenidos. Así pues se definen, como argumento para posibles líneas de investigación, las siguientes cuestiones:

- Iniciada la experimentación básica para la estabilización de morteros de arcilla con cales, el siguiente paso a desarrollar sería valorar resultados con otros productos naturales, reproduciendo procedimientos similares para la constatación de variables que puedan presentarse.

-Generar una base de datos de otros productos predosificados que se puedan comparar bajo las mismas condiciones de experimentación para verificar datos, ofrecer opciones de combinaciones y resaltar diferencias destacables.

- Analizados los datos del comportamiento de estos morteros frente al agua, resulta indispensable cuestionar aspectos de su respuesta a la absorción de agua y la permeabilidad al vapor de agua, temas a destacar tanto para futuras investigaciones como para comprender mejor el fenómeno que se estudia.
- Resulta interesante proponer como posible línea futura de investigación el estudio de la reacción de los morteros de arcilla con aditivos hidráulicos, en cuanto a las reacciones de la mezcla con cales hidráulicas y cemento, para productos al exterior.
- Después de ver los resultados sobre soportes nuevos y en buen estado habría que evaluar si los resultados son comparables con las superficies deterioradas y que continúan expuestas a los mismos factores que fueron causa de la mala conservación.
- Propuesta de nuevos productos con obtención de materia prima local, dentro del ámbito andaluz, creando actividades multidisciplinares para proyectos de formación de oficios que se sumen a las redes existentes que articulan varias opciones de desarrollo del conocimiento y divulgación de estos productos.
- Queda abierta la línea de investigación de las pruebas aplicadas a edificaciones que necesiten restauración o conservación dentro del ámbito de intervención en la edificación.
- El tema de relacionar las posibles aplicaciones de los morteros de arcilla como producto protector de elementos constructivos contra el fuego, abre otra línea de investigación conociendo que todos los tipos de suelos son materiales ignífugos, en cuanto aportan garantías la capacidad de regulación térmica y rangos de estabilidad, cuantificación de grosores en los revestimientos podría ser un interesante apartado a desarrollar.
- El color en estos morteros y las texturas, pueden estudiarse contemplando el grado de trabajabilidad, consistencia y niveles de contracción de diferentes morteros con determinados aditivos.

11 – BIBLIOGRAFÍA

● Bibliografía general

- ADAM, E.A., AGIB, A.R.A. (2001) Compressed stabilised earth block manufacture in Sudan. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) Francia. Pp 51-55.
- ADAM, J.P.(2002) La construcción romana. Materiales y Técnicas. Editorial de los oficios. León, España.
- AFAM. (2006) Morteros de revestimiento. Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero Madrid, España.
- A.A.V.V. CRATerre-ENSAG, International Center for Earthen Construction, École nationale supérieure d'Architecture de Grenoble (2008) Terra Incognita. Discovering European Earthen Architecture. Terra Incognita Project. Argumentum Editions – Culture Lab Editions.
- A.V.V. CRATerre-ENSAG, International Center for Earthen Construction, École nationale supérieure d'Architecture de Grenoble (2008) Terra Incognita. Preserving European Earthen Architecture. Terra Incognita Project. Argumentum Editions – Culture Lab Editions.
- ACHENZA, M., SANNA, U. (2006) Il manuale tematico della terra cruda . I Manuali del recupero dei Centri Storici della Sardegna
- ALEJANDRE SANCHEZ, F. J. (2002) Historia, Caracterización y Restauración de Morteros. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. Sevilla.
- ALEJANDRE SANCHEZ, F. J. (1998). La espectrofotometría UV-VIS aplicada al estudio del color y estabilidad en morteros coloreados. Materiales de construcción, Vol. 49, nº254.
- ALGORRI, E., VAZQUEZ, M. (1989). Actas I Jornadas sobre Restauración y Conservación de Monumentos. Instituto de Conservación de Bienes Culturales, Madrid. CSIC.
- ÁLVAREZ GALINDO, J.I., MARTÍN PÉREZ, A., GARCÍA CASADO,P.J. (1995) Historia de los morteros. IAPH. Consejería de Cultura. Boletín Informativo 52. PH 13.
- AZEREDO, G., MOREL, J. C. PERAZZO BARBOSA, N.(2007) Compressive strength testing of earth mortars. Journal of Urban and Environmental Engineering, v.1, n.1 (2007) 26–35.
- AZEREDO, G., MOREL, J., LAMARQUE, C.H. (2008) Applicability of rheometers to characterizing earth mortar behavior. Part I: experimental device and validation. Materials and Structures
- AZEREDO, G., MOREL, J. C.(2009) Tensile strength of earth mortars and its influence on earth masonry behavior. Proceedings of the 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT2009) 6-9 September 2009, Bath, UK.

BARCENA BARRIOS P., BAULUZ DEL RIO G. (2004) Uso actual de antiguas tecnológicas castellanas de edificación con tierra en los procesos de autoconstrucción de viviendas en América Central y Andina. (La vivienda de tapial en Castilla y América). Colegio de Arquitectos de Castilla-La Mancha, Demarcación de Toledo. Pág. 53-55.

BRAUNGART, M., McDONOUGH, W. (2005) Cradle to Cradle. De la cuna a la cuna. Rediseñando la forma en que hacemos las cosas. McGraw Hill.

BASTERRA OTERO, L.A., SANDOVAL, J. (2003) Comportamiento de bloques de tierra comprimida sometidos a diferentes condiciones de humedad. II Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra. Departamento de Edificación. Universidad de Valladolid.

BORGES RAMOS, J. (2010). Construcción con tierra : ensayos de campo. XIII Curso de Especialización - Cooperación para el Desarrollo de Asentamientos Humanos en el Tercer Mundo. IX Taller: La Tierra como Material de Construcción. ETSA. Universidad Politécnica de Madrid

BOUSSALH, M., JLOK, M., GUILLAUD, H., MORISET, S. (2004). Manuel de conservation du patrimoine architectural en terre des vallées présahariennes du Maroc. CERKAS / Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO / CRATerre-EAG.

CANEVA G., NUGARI M. P., SALVADORI O. (2000) "La biología en la restauración". Arte y Restauración. Consejería de Cultura, Junta de Andalucía e Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Nerea. Hondarribia (Guipúzcoa). Traducción de Rosalía Gómez.

CHIAPPERO, R., SUPISICHE, M.C. (2003) Arquitectura en tierra cruda Breves consideraciones sobre la conservación y la restauración. Nobuko.

CID, J., MAZARRÓN, F. R., CAÑAS, I. (2011) "Las Normativas de Construcción Con Tierra En El Mundo." Informes de la Construcción 63(523): 159-69. <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1262/1347>.

CRICYT, AHTER, CRIATIC. (2006) Construir con Tierra Ayer y Hoy. Libro de actas V SIACOT – Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra y I Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra. Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Arquitectura, Historia, Tecnología y Restauración, Unidad Ciudad y Territorio (Mendoza) y Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.

CSIC. CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (2008) Arqueología de la Arquitectura. Volumen 5. Instituto de Historia del CSIC y Universidad del País Vasco. Madrid y Vitoria, España.

CYTED, HABYTED y PROTERRA (2003) Proyecto XIV.6, Tecnología de Construcción con Tierra. Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra. Proyecto XIV.6. PROTERRA del CYTED Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

CRATERRE - NATIONAL SCHOOL OF ARCHITECTURE OF GRENOBLE. Coordination GUILLAUD, H. (2010) Terra Education 2010. Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau / Great Workshops of l'Isle d'Abeau. *Extra-muros* programme, Cité de la Construction Durable and 8th Festival « Grains d'Isère 2010 ».

CRATERRE ENSAG (2011) Bâtir en terre aujourd'hui. Grenoble.

CRIADO, E., REGUEIRO, M., SÁNCHEZ, E. (2001) La industria cerámica en España (1990-2000). Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio.

DE HOZ ONRUBIA, J., MALDONADO RAMOS, L., VELA COSSIO, F. (2003) Diccionario de construcción tradicional: Tierra. Madrid. Nerea.

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICAS (2001) Tratado de Rehabilitación – Tomo 3: Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas. Elementos estructurales. Madrid. Munilla-Lería.

DÍAZ RODRÍGUEZ, R., TORRECILLAS, R. (2002) Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio.

DOAT, P., HAYS, A., HOUBEN, H., MATUK S., VITOUX, F. (1979). Collection Anarchitecture.

FIGOLS GONZALEZ, M.(2006)Arquitectura de Tierra en Valdejalón. CSIC. ENTASIS, Apuntes de arquitectura aragonesa de la Cátedra Ricardo Magdalena. Institución Fernando el Católico. Zaragoza, España.

FONT FERMÍN HIDALGO, P.(2009) Arquitecturas de tapia Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Castellón. España.

FONT FERMÍN HIDALGO, P. (1991) El Tapial. Una técnica constructiva milenaria Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Castellón. España.

GARATE ROJAS, I. (1994). Artes de la cal. Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Archivos, Instituto Español de Arquitectura. Ediciones de la Universidad de Alcalá de Henares, España.

GRACIANI A., TABALES M.A. (2008). El tapial en el área sevillana. Avance cronotipológico estructural. Arqueología de la Arquitectura, 5, Pág. 135-158. CSIC. (España).

GRAHAM MCHENRY, P.(1989) Adobe and rammed earth buildings .Design and construction.

GUIGOU FERNANDEZ, C. (2002). La tierra como material de construcción. Colegio Oficial de Arquitectos de Canarias, España.

GUINEA, M.J. (1986) Normativa relacionada con las construcciones de tierra. Materiales de construcción. vol. 36, n.º 202, CSIC. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, España.

JOVÉ SANDOVAL, F. SÁINZ GUERRA, J.L. (2010) La arquitectura construida en tierra: tradición e innovación: Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2004/09. Valladolid. Universidad de Valladolid

JOVÉ SANDOVAL, F. SÁINZ GUERRA, J.L. (2011) Construcción con tierra: Tecnología y arquitectura: Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010/11. Valladolid. Universidad de Valladolid

JOVÉ SANDOVAL, F. SÁINZ GUERRA, J.L. (2013) Construcción con tierra: pasado, presente y futuro: Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012. Valladolid. Universidad de Valladolid

HOUBEN H., GUILLAUD H. (1995) *Traité de Construction en Terre*. CRATerre. Edita Parenthèses. Marsella, Francia.

HOUBEN H., GUILLAUD H. (2008) *Earth Construction. A comprehensive guide*. CRATerre-EAG. Intermediate Technology Publications, London.

HUETE FUERTES, R., RODRÍGUEZ LIÑAN, C., JARAMILLO MORILLA, A. (2003) ITE- Protocolo de Inspección Técnica de Edificaciones.

COAS.Fundación FIDAS. España.

IBETTE DOMÍNGUEZ CANALES, V.S., ZEGBE DOMÍNGUEZ, J.A., ALVARADO NAVA, M.A., MENA COVARRUBIAS, J. (2011) Extracción y purificación de mucílago de NOPAL. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Norte-Centro, Campo Experimental Zacatecas, Desplegable Informativa Núm. 21

ICC EDUARDO TORROJA. I Jornadas de investigación en construcción. Tomo II. Actas de las jornadas.

ICC EDUARDO TORROJA. Coordinador SALAS, J. (1987) La tierra: material de construcción. Monografía N° 385/386. CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España

ICC EDUARDO TORROJA. BESTRATEN, S., HORMÍAS, E. (2011) La tierra: material de construcción. Monografía N° 523. CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España

ICOMOS UK. EARTH STRUCTURES COMMITTEE (2000) *Terra Britannica*. English Heritage. John Hurd and Ben Gourley.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE STUDY AND CONSERVATION OF EARTHEN ARCHITECTURAL HERITAGE (2008) *Terra 2008: the 10th International Conference on the study and conservation of earthen architecture heritage*. Bamako, Mali. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. USA.

JAQUIN, P., AUGARDE, C. (2012) *Earth building: history, science and conservation*. IHS BRE Press. Braqcknell.

JIMENEZ DELGADO, M.C., CAÑAS GUERRERO, I. (2007) The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review *Construction and Building Materials* 21. 237–251 www.sciencedirect.com

JUNTA DE ANDALUCÍA, (1986) La minería andaluza. Libro blanco I y II. Consejería de Economía y Fomento. Dirección general de Industria, Energía y Minas.

KEEFE, L. (2005) Earth building. Methods and materials, repair and conservation. Taylor & Francis. London and New York.

LÓPEZ MARTINEZ,F.J.(1999) “Tapias y tapiales”. En: Logia: Arquitectura y Restauración N°8. . España. Pág. 74-89

LOZANO APOLO G., LOZANO MARTÍNEZ LUENGAS A.(2003) Cursos Técnicas de Intervención en el Patrimonio arquitectónico. Tomo II: Reestructuración de edificios de muros de fábrica. Gijón. Lozano y Asociados y COA Coruña.

MALDONADO RAMOS, L.; VELA COSSIO, F. (1999) Curso De Construcción Con Tierra (I) Técnicas Y Sistemas Tradicionales. Cuadernos Del Instituto Juan De Herrera De La Escuela Técnica Superior De Arquitectura. Madrid, España.

MALDONADO RAMOS, L.; VELA COSSIO, F. (1995) “La técnica del tapial en la Comunidad Autónoma de Madrid”. Informes de la Construcción N° 452. CSIC. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, España. Pág. 27-37.

MARTINS NEVES, C., OBEDE BORGES, F., ROTONDARO, R. , CEVALLOS SALAS, P., HOFFMAN, M.V.(2009)Selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra. Prácticas de campo. Red iberoamericana PROTERRA.

MATEOS DE VICENTE,M. (2013) Estabilización de tierras para pavimentos, cimientos, laderas y casas de adobe.Belisco.Madrid.

MATTHEW R HALL,R LINDSAY,M KRAYENHOFF (2012) Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES (1992.) Bases para el diseño y construcción con tapial. Monografía de la Dirección General para la Vivienda y Arquitectura. Madrid. MOPT.

MINKE, G. (2001) Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual. Nordan Comunidad

MINKE, G. (2006) Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture. Birkhauser .

MINKE, G. (2011) Retracción, abrasión, erosión y absorción de revoques de barro. Informes de la construcción 63.número 523. En el Laboratorio de Construcciones Experimentales (FEB)

MONTANA, G., RANDAZZO, L., SABBADINI, S. (2013) Geomaterials in green practices: comparative caracterization of commercially available clay-based plaster.Environ Earth Sci

NEVES, C., Borges, O., ROTONDARO, R. (2009) Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra - prácticas de campo. Proyecto de Investigación PROTERRA del CYTED - Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, en el Subprograma XIV HABYTERRA - Viviendas de Interés Social. Disponible en: <http://www.redproterra.org>. (Acceso: 2013-2015).

PACHECO TORGAL, F., RUTE, M.G.E. SAID, J. (2009) A construção em terra. Guimaraes

PROTERRA (2003) Construção com terra. Catálogo de la exposición. Proyectoxiv.6.Tecnologías de construcción con tierra. HABYTED Subprograma XIV Viviendas de Interés Social. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo C Y T E D.

PIMENTA, P., FARIA, P., SANTOS SILVA, A., JAMÚ, N.(2014) Caracterização de argamassas de cal aérea e terra. I Simposio de Argamassas e Soluções térmicas de revestimiento.

OLCESE SEGARRA, M. (1993) Arquitectura de Tierra: tapial y adobe. Colegio Oficial de Arquitectos de Valladolid. Valladolid, España.

REGUEIRO, M., SÁNCHEZ, E., SANZ, V., CRIADO, E. (1996) La industria cerámica en España. Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio.

ROTONDARO, R., MELLACE, R., ALDERETE, C., ARIAS, L., LATINA, S., SOSA, M.(2003) Mejoras de bajo costo para muros de tierra cruda, Tucumán, Argentina. Etapa I: Diseño y ensayos previos. Serie Arquitectura de Tierra Cruda. CRIATIC (Centro Regional de Investigaciones sobre Arquitectura de Tierra Cruda), LEME (Laboratorio de Materiales y Elementos) Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

ROTONDARO, R., MELLACE, R., ALDERETE, C., ARIAS, L., LATINA, S., SOSA, M.(2003) Mejoras de bajo costo para muros de tierra cruda, Tucumán, Argentina. Etapa II: Prototipos de muros. Serie Arquitectura de Tierra Cruda. CRIATIC (Centro Regional de Investigaciones sobre Arquitectura de Tierra Cruda), LEME (Laboratorio de Materiales y Elementos) Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

ROTONDARO, R., PATRONE, J.C., SCHICHT, A. (2008) Innovación tecnológica y vivienda en el gran Buenos Aires. Pisos revoques para sectores en situación de pobreza. Cuaderno Urbano 7 .Espacio, Cultura, Sociedad. Vol VII-7.

SASTRE SASTRE, R., MUÑOZ SALINAS, F. (2010) Propiedades de los materiales y elementos de construcción. Edita Universidad Politécnica de Cataluña, SL. Barcelona. España.

SCHROEDER, HORST, (2015) Sustainable Building with Earth. Springer International Publishing AG (ebook) <http://www.springer.com/de/>

SME - SOCIETY FOR MINING, METALLURGY AND EXPLORATION. (2006) Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets, and Uses. 7th Edition. Edition Jessica Elzea Koge

SORIANOALFARO, V. (2006)Arquitectura de tierra en el sur de Marruecos. El oasis de Soura.

VALVERDE-PALACIOS, I., FUENTES, R., VALVERDE-ESPINOSA, I. MARTÍN MORALES, M., DEL MORAL ÁVILA, C., DELGADO MÉNDEZ, L., SANTOS, J., CANALS PERES, E.(2012) XI Congreso internacional de rehabilitación del Patrimonio arquitectónico y edificación (el patrimonio ibérico). Projected earth system®. Aplicación de esta técnica a la construcción de viviendas sostenibles y ecológicas: ecodome

VIÑUALES, G., MARTINS NEVES, C., FLORES, M., RIOS, L. S.(1994) Arquitecturas de Tierra en Ibero América. HABITERRA. Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Buenos Aires, Argentina.

● Bibliografía específica

AFAM. (2010) Parte I: Recomendaciones y Pliego de Condiciones para revestimientos de mortero. Disponible en: www.afam.es (2014)

AFAM(2010) Morteros con marcado CE. Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero Madrid, España.

AFAM. (2006) Morteros de revestimiento. Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero Madrid, España. Pág. 37.

ASHOUR, T., GEORG, H., WU, W. (2011): An experimental investigation on equilibrium moisture content of earth plaster with natural reinforcement fibres for straw bale buildings

ALVES DOS SANTOS, T. (2014) Argamassas de terra para rebocos interiores Ensaios de caracterização e influência da formulação. Grau Mestre em Engenharia Civil – Perfil de Construção. Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa. Disponible en: http://run.unl.pt/bitstream/10362/13047/1/Santos_2014.pdf (2015)

CABRERA, J.L.A. (1995) La adherencia de morteros de albañilería. Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción. Cuba.

CABRERA, J.L.A., FERNÁNDEZ COLLAZO, Y., GONZÁLEZ RAMÍREZ,,N. BERMUDEZ VALLES,S. (1999) Morteros a base de suelos. Caracterización. Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción. Cuba.

CASTILLA, F. (2004). Tesis doctoral "Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra". Dirigida por Luis Maldonado Ramos. Departamento de Construcciones y Tecnologías Arquitectónicas. Escuela Técnico Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid.

CASTILLA, F. (2010). "Revestimientos y acabados superficiales en construcciones con tierra contemporáneas". Monográfico: La tierra, material de construcción. Nº 523. Informes de la Construcción. Coordinado por Sandra Bestraten y Emilio Hormías. CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España

DIDIER-FELTGEN, L. (2005) LES ENDUITS EN TERRE Synthèse et transmission des savoir-faire dans le cadre du programme européen Leonardo da Vinci. ECOLE D'ARCHITECTURE DE GRENOBLE .Laboratoire CRATerre-EAG

ECVET EARTH BUILDING HANDBOOK. (2009) Procedural Instructions for ECVET Earth Building. Ganzlin.

ECVET. SYSTÈME EUROPÉEN DE CRÉDITS D'APPRENTISSAGES POUR L'ENSEIGNEMENT ET LA FORMATION PROFESSIONNELS. Manuel. (2009) Construction en terre. Part I-II-III-IV. Acquis-terre.

FFB - Fédération Française du Bâtiment. (2012). Règles professionnelles pour la mise en oeuvre des enduits sur supports composés de terre crue. Collection recherche développement métier. SEBTP.

GARCÍA, D., MILLA, L., NAVARRO, A., PALUMBO, M., LACASTA A. (2014) "Revestimientos con tierra y fibras vegetales: metodología de estudio". En: Construcción con Tierra Patrimonio y Vivienda. X CIATTI 2013 Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra de Cuenca de Campos 2013. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. Pp 225-234. Disponible en: <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2014/225-234-garcia.pdf>

GIL, M. et al(2009) Colour Assays: An Inside Look into Alentejo Traditional Limewash Paintings and Coloured Lime Mortars. poster in HMC08: Conference of Historical mortars, Lisbon, LNEC, 24–26 September 2008 and integrated in the Proceedings (CD). Volume 36, Number 1, February 2011

GOMES, M.I., DIAZ GONSALVES, T., FARIA, P. (2012) Earth-based repair mortars: Experimental analysis with different binders and natural fibers. Rammed Earth Conservation. Mileto, Vegas & Cristini. Taylor & Francis Group, London. Pp 661-668.

GOMES, M.I., DIAZ GONSALVES, T., FARIA, P (2013) "The compatibility of earth-based repair mortars with rammed earth substrates". 3rd Historic Mortars Conference. Glasgow, Scotland.

- GOMES, M.I., DIAZ GONSALVES, T., FARIA, P. (2012) Evaluación de la influencia del contenido de agua en la trabajabilidad del mortero de tierra. En: Apuntes 25 (2): 258 - 277. Bogotá, Colombia
- GONZALO SÁNCHEZ, Vanesa. (2012) "Morteros de barro estabilizados con fibras de paja, esparto y sisal para su uso como revestimientos" Trabajo fin de Máster. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: <http://oa.upm.es/14429/> (2013)
- GUERRERO BACA, L.F., SORIA, J., GARCIA, B. (2010) "La cal en el diseño y conservación de la arquitectura de tierra". En: Arquitectura construida en tierra. Tradición e Innovación. Congreso de Arquitectura de Tierra de Cuenca de Campos 2004/09. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. Pp 177-186. Disponible en: http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2010/2010_9788469345542_p177-186_guerrero.pdf
- LÓPEZ SALAMANQUÉS, EMMA. (2013) Guía para los morteros con cal. AIDICO. Jornada técnica: "La cal en la construcción". ANCADE. Disponible en: [presentacionmorteroscal_aidico.pdf](#) (Acceso: 01/06/2014)
- MARTÍNEZ MOLINA, W., ARREOLA SÁNCHEZ, M., ALONSO GUZMÁN E. M., BEDOLLA ARROYO, J. A., TORRES ACOSTA A. A. , LARA GÓMEZ, C. , CHÁVEZ GARCÍA, H. L., VELASCO ÁVALOS, F. A. , Y DEL VALLE MORENO, A. L.(2011). 2do. Congreso Iberoamericano y X Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio".
- MOEVUS, Mariette, ANGER Romain, FONTAINE Laetitia (2012) Hygro-thermo-mechanical properties of earthen materials for construction: a literature review. CRAterre - Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble. Theme 6: Research in Materials and Technology for Conservation and Contemporary Architecture. Terra 2012, April 2012, Lima, Peru. Disponible en: <http://memsic.ccsd.cnrs.fr/hal-01005948/document> (2013)
- MORÉTEAU, SYLVAIN. (2012). Enduits de terre crue : Techniques de mise en oeuvre et conseils de professionnels.
- ELAY-LIZANCOS, MIRIAN, et al. (2014) A study of the strength evolution of mortars with fine recycled aggregate by ultrasound and an estimate of effective water/cement ratio. Universidad de A Coruña. Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos. National Congress - Greencities & sostenibilidad, At Málaga.
- SARTRE, A. (2012) enduits sur terre crue. Des règles professionnelles pour préserver la performance du bâti. Qualité Construction.
- RODRIGUEZ , X. (2011) Revocos prefabricados de tierra. Ecohabitar 30.

● Tesis y Trabajos Fin de Master consultados

BARBETA SOLÁ, G. (2002) Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI ETSA Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.

CASTILLA PASCUAL, F.J.(2004) Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica. Universidad Politécnica de Madrid

CARRANZA,M.(2010) ¿Existen técnicas adecuadas de construcción con tierra para países sísmicos?. ETSA Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.CENTRO Fundación Politécnica Catalunya. Barcelona.

CAYETANO GUIRAO, S., GHAZAL PANDO, K. (2014). Estudio de revestimientos de tierra con fibras vegetales de cebada. Grado de ciencias y tecnologías de la edificación. EPSE Barcelona

COMPTE, F. (2012) Mur monolithique en terre crue, Type Pisé.Techni.ETC.université de Fribourg.□

ENFEDAQUE DIAZ, A. (2008) Resistencia a impacto de morteros de cemento reforzados con fibra de vidrio (GRC). Departamento Ciencias en los materiales.ETSI Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid

GARCÍA MORALES, S. (1995) Metodología de diagnóstico de humedades de capilaridad ascendente y condensación higroscópica, en edificios históricos. Departamento de construcción y tecnología arquitectónica. ETS Arquitectura . Universidad Politécnica de Madrid.

GATTI, F.(2012) Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra. Departament de constructions arquitectòniques. ETSA Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.

GONÇALVES DA SILVA BRAGA, A. M. (2012) Las construcciones de tierra cruda en el Algarve. Potenciales como material alternativo y sostenible.

GONÇALVES DA SILVA BRAGA, A. M., ROBADOR GONZÁLEZ, M.D.(2011). Tierra y Cal. Instituto Universitario De Ciencias de la Construcción. Etsa De Sevilla. Universidad de Sevilla.

GONZÁLEZ CORTINA, M. (2000) Recuperación de morteros romanos de cal y chamota en aplicaciones actuales. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica. ETS Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid.

GONZÁLEZ SÁNCHEZ, V.(2012) morteros de barro estabilizados con fibras de paja, esparto y sisal para su uso como revestimientos.EUAT. Universidad Politécnica de Madrid.

GUALDRÓN PERNÍA, K. (2011) Estudio de las características de los morteros con adiciones provenientes de neumáticos fuera de uso (NFUs). Departamento Construcciones Arquitectónicas y su Control. ETS Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid

MOLINA BAS, O. (2008) La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento Pórtland en la durabilidad del hormigón. Departamento de Ingeniería Civil: Construcción.ETSI Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid

MOSQUERA DE ARANCIBIA, P. “Medida de la conductividad térmica con el método de la aguja térmica, basado en la fuente lineal de calor transitorio, para su aplicación en cerramientos de adobes y bloques de tierra comprimida” ETSA Barcelona. Universitat Politecnic de Catalunya.

RODRIGUEZ GARCIA, M. R. (1999) Características técnicas de rocas ornamentales en la edificación. Tesis doctoral, Departamento de Construcciones Arquitectónicas I. ETSArquitectura. Universidad de Sevilla.

YUSTE, B.(2014) Arquitectura de Tierra. Caracterización de los tipos edificatorios. Universitat politecnic de Catalunya.

- **Normativa de referencia**

CTE-DB-SE-F - Código Técnico de la Edificación Documento Básico de Fábricas

CTE-DB-SUA - Código Técnico de la Edificación Documento Básico Seguridad de Utilización y Accesibilidad

CTE-DB-AE - Código Técnico de la Edificación Documento Básico Seguridad Acciones en la Edificación

Norme française AFNOR NF DTU 26.1 P1-2, 2008. Travaux de batiment. Travaux d'enduits de mortiers. Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques

RC-08. Instrucción para la recepción de cementos Real Decreto 956/2008

RD 312/2005 y 110/2008. Reacción al fuego

UNE 83-811-92 Morteros. Método de ensayo. Morteros frescos. Determinación de la consistencia. Mesa de sacudidas (Método de referencia)

UNE EN-197-1: 2011. Cemento. Parte1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes

UNE EN-459-1: 2011. Cales para la construcción. Parte1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad

UNE-EN 196-1: 2005 Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.

UNE-EN 998-1:2010 Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido

UNE-EN 998-2:2004 Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería.

UNE-EN 1015-1:1999/A1 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 1: Determinación de la distribución granulométrica (por tamizado)

UNE-EN 1015-2:1999 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo

UNE-EN 1015-3:2000 Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas)

UNE-EN 1015-3:2000/A1:2005 Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas)

UNE-EN 1015-6:1999 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 6: Determinación de la densidad aparente del mortero fresco.

UNE-EN 1015-6:1999/A1 (2007) Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 6: Determinación de la densidad aparente del mortero fresco.

UNE-EN 1015-9:1999/A1 (2006) Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 9: Determinación del periodo de trabajabilidad y del tiempo abierto del mortero fresco.

UNE-EN 1015-9:2000 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 9: Determinación del periodo de trabajabilidad y del tiempo abierto del mortero fresco.

UNE-EN 1015-9:2000/A1 (2007) Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 9: Determinación del periodo de trabajabilidad y del tiempo abierto del mortero fresco.

UNE-EN 1015-10:2000 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido.

UNE-EN 1015-11:2000 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.

UNE-EN 1015-11:2000/A1 (2007) Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.

UNE-EN 1015-12:2000 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros para revoco y enlucido aplicados a soportes.

UNE-EN 1015-18:2003 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido.

UNE-EN 1015-19:1999/A1 (2005) Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 19: Determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros para revoco y enlucido.

UNE 83830 EX: 2010. Morteros. Método de ensayo de los morteros para albañilería. Determinación de la capacidad de eflorescer de los morteros de albañilería endurecidos

UNE 83831 EX: 2010. Morteros. Método de ensayo de los morteros para albañilería endurecidos. Determinación de la estabilidad dimensional de los morteros de albañilería endurecidos

UNE-EN 13872 (2004) Método de ensayo de morteros para igualado y/o nivelado. Determinación de la contracción.

- **Fuentes infográficas**

Instituto Geológico y Minero de España: <http://www.igme.es/> (noviembre 2014)

- **Enlaces Webs de referencia**

- **Enlaces de información general**

<http://www.asterre.org/>

<http://www.adobe-block.com>

<http://www.arquitectura-tecnica.org/ARTICULO15.htm>

<http://www.arqueologiamedieval.com/articulos/82/materiales-y-tecnicas-constructivas-en-la-arquitectura-andalusi>

<http://craterre.org/>

<http://www.ceisp.com/> (Acceso 30/06/2015)

<http://ciat.es/>

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:c11107> (abril 2015)

<http://www.euvetsupport.eu/index.php?id=208&L=3>

<http://infofpe.cea.es/fpe.php?section=c63>

http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Evaluacion_Final_PORMIAN_2010-2013.pdf(Acceso 27/07/2015)

<http://www2.konicaminolta.eu>. (Acceso 30/06/2015)

http://lernpunkt.lehm.de/wp3/?page_id=4150

<http://www.sea-arcillas.es/documentos.htm>

<http://terre.grenoble.archi.fr/accueil.php>

<http://www.tectonica-online.com/productos/>

<http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-21-21.pdf>

- Enlaces de proyectos europeos

<http://culture-terra-incognita.org/> (octubre 2012)

<http://www.restapia.es/> (junio 2012)

<http://www.esg.pt/versus/>

<http://pirate.greenbuildingtraining.eu/public>

http://www.earthbuilding.info/index_gb.html

<http://www.uni-terra.org/>

- Enlaces de información específica sobre formación en aplicación de morteros de tierra

<http://www.earthbuilding.eu/> (enero 2015)

<http://mimosa.cereq.fr/bacpro-patrimoine-bati/contenu-outils/documents/catalogueleonardo.pdf> (2014)

<http://ohjekirjat.fi/northernclay/>

<http://japaneseplastering.blogspot.com.es/p/japanese-trowels.html> (mayo 2015)

<http://patrimonioyarquitecturatierrachile.blogspot.com.es/>

<http://www.lime.org.uk/products/mortars-and-plasters/daub/>

<http://catalogs.indiamart.com/products/fire-clay-mortar.html>

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1151-2916.1930.tb16258.x/pdf>

<https://www.facebook.com/hlineneomietky> (arterre.sk)

- Enlaces de información específica sobre morteros

www.afam.es

-Productos – Morteros de arcilla

<http://www.ecoclay.es/> (octubre 2012)

<http://www.embarro.com/es/> (octubre 2012)

<http://www.conluto.de/Produkte.6.0.html> (junio 2013)

<http://www.conluto.de/Lehmputze-Farben-CONLINO.11.0.html> (junio 2013)

<http://www.akterre.com/fiches-techniques.php> (2013)

<http://www.terragera.eu/it/prodotti/prodotti-in-argilla.html>

<http://www.americanclay.com/>

<http://www.arquisolux.com/productos.php/es/10211>

-Blogs

<http://patrimonioyarquitecturatierrachile.blogspot.com.es/>

<http://tectonicablog.com/?tag=tierra> Consulta 2014

<http://elblogdevireco.wordpress.com/2012/10/02/kerakoll-biocalce/>

<http://blog.bellostes.com/>

